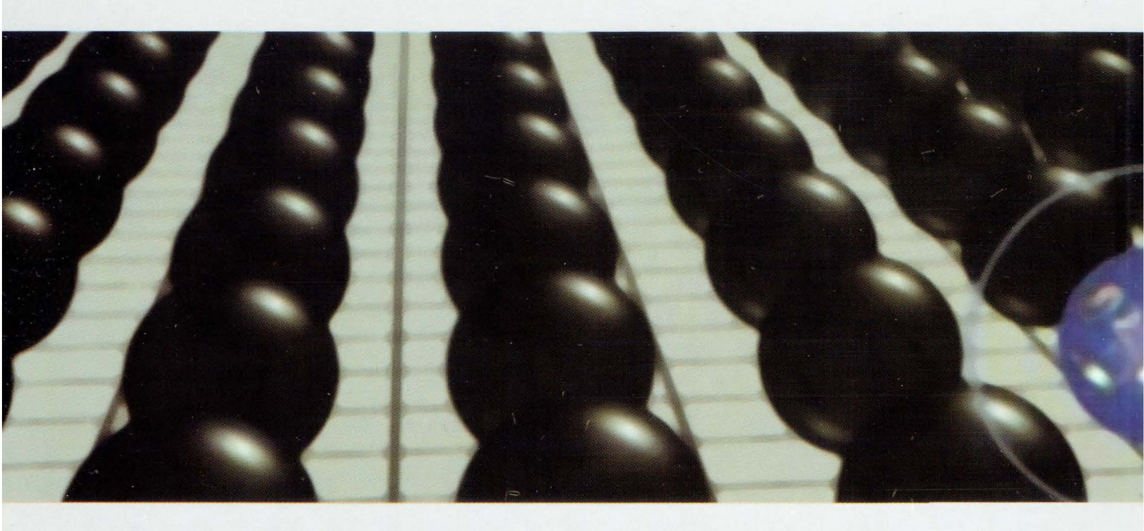


ترجمات

الكون المنشود

الحياة في كوكب مضبوط بدقة

جيراينت لويس و لوك بارنز

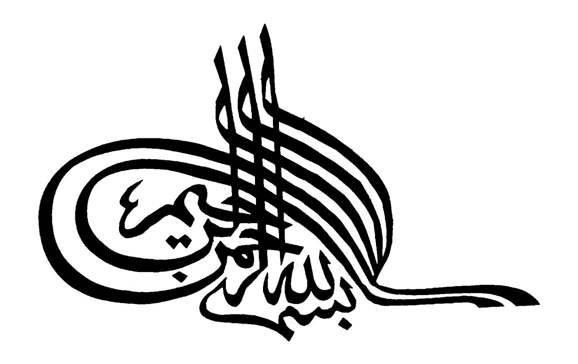


ترجمة: مصطفى نصر قُديح - أحمد مصطفى أبوطايل

مراجعة : إبراهيم بن مسفر الهلالي

الكون المنشود

الحياة في كوكب مضبوط بدقة


بسم الله الرحمن الرحیم

الكون المنشود

الحياة في كوكب مضبوط بدقة

جيراينت لويس

جامعة سيدني

لوك بارنز

جامعة سيدني

تقديم

بريان شميت

الجامعة الأسترالية الوطنية

ترجمة: مصطفى نصر قُديح - أحمد مصطفى أبو طايل

مراجعة: إبراهيم بن مسفر الهلالي

الـكـون الـمـنـشـود

الحياة في كوكب مضبوط بدقة

جيراينت لويس - لوك بارنز

الطبعة الأولىٰ

١٤٤١هـ/٢٠٢٠م

«الآراء التي يتضمنها هذا الكتـاب
لا تعبر بالضرورة عن نظر المركز»



Business Center 2 Queen
Caroline Street, Hammersmith
London W6 9Dx, UK

www.Takween-center.com
info@Takween-center.com

الموزع المعتمد

+966555744843

المملكة العربية السعودية - الدمام

إهداء

جيرايـنت

أُهدي هذا العمل إلىٰ أمي وأبي الَّذَين أُكِنُّ لهما كل الحب والتقدير

لوك

أُهدي هذا العمل إلىٰ ر، ي، م الَّذَين أُكِنُّ له كل الحب والتقدير

المحتويات

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الكون المنشود
الحياة في كون مضبوط بعناية

علىٰ مدار الأربعين عامًا الماضية، اكتشف العلماء أدلة مفادها أنه لو كان الكون قد تشكل وفقًا لخصائص مختلفة قليلًا عمَّا هي عليه؛ لكانت الحياة -كما نعرفها، وكما يمكننا تصورها- مستحيلة.

فهلُمَّ بنا في رحلة عبر كيفية إدراكنا للكون، بدءً من جسيماته وقواه الأكثر أساسية، وحتىٰ الكواكب والنجوم والمجرات، ورجوعًا بتاريخ الكون إلىٰ وقت ميلاده. كما نتعرَّف أفكارًا متضاربة حول موقعنا من الكون وأدلتها الداعمة، وكذلك نقدها، من خلال وجهات نظرٍ علمية وفلسفية ودينية. حيث يتناول أسلوب المؤلفين -الأخَّاذ، والذي يتسم بروح الفكاهة- ما قد يعْنِيه الضبطُ الدقيق بالنسبة لمستقبل الفيزياء وكذلك البحث عن قوانين الطبيعة المطلَقَة.

يدفعنا هذا الكتاب -بمعالجته أسئلة عسيرة، وتقديمه إجابات مثيرة- إلىٰ النظر في موقعنا من الكون، بصرف النظر عن قناعاتنا الأولية.

«**جيراينت ف لويس**» (Geraint F. Lewis): أستاذ الفيزياء الفلكية بمعهد سيدني للفلك التابع لجامعة سيدني. وهو فيزيائي فلكي يحظىٰ بمكانة دولية حيث تلقىٰ تعليمه الجامعي بجامعة لندن، وحصل علىٰ رسالة الدكتوراه في الفيزياء الفلكية من معهد الفلك الشهير عالميا التابع لجامعة كامبريدج، وقد نشر أكثر من

مائتي ورقة بحثية في مجالات متنوعة، منها تعدُّس الجاذبية[1] (gravitational lensing)، والالتهام المجرَّي[2] (galactic cannibalism)، وعلم الكونيات[3] (cosmology)، والبنية الواسعة النطاق[4] (large-scale structure). وبالإضافة لكونه محاضرًا بارعًا، فهو يشارك بانتظام في التوعية العامة عبر خطاباته وكلماته العامة، ومقالاته التي تُنشر في الصحافة الشعبية، وعبر وسائل التواصل الاجتماعي كذلك، علىٰ موقع «تويتر» علىٰ حسابه (Cosmic_Horizons@) وعلىٰ مدونته التي عنوانها (cosmic-horizons.blogspot.com).

«لوك أ بارنز» (Luke A. Barnes): باحث بمرحلة ما بعد الدكتوراه، لدىٰ معهد سيدني للفلك. وقد ساعده الوسام الجامعي -الذي حصل عليه من جامعة سيدني- في نيل منحة لاستكمال شهادة الدكتوراه بجامعة كامبريدج. وقد نشر أوراقًا بحثية في مجال تكوُّن المجرات وكذلك ضبط الكون ضبطًا دقيقًا لأجل

---

(١) قد يترجمها البعض بعدسة الجاذبية أو التعدس الثقالي وكلها مسميات لظاهرة فلكية تحدث عندما يزداد الإشعاع الظاهر لنا من نجم ما نتيجة تأثره بمجال الجاذبية لجسم آخر يقع بيننا وبينه، حيث ينحني الضوء نتيجة الكتلة، وكلما زادت الكتلة زاد الانحناء، فكلما زادت كتلة الأجسام المتسببة في هذا التعدس الجاذبي، أدىٰ ذلك إلىٰ لمعان النجوم -التي هي مصدر الضوء- بشكل أكبر؛ مما يمكن العلماء من رصدها بسهولة، ويعد التعدس الجاذبي أحد تنبؤات النظرية النسبية العامة لألبرت أينشتاين. (المترجم)

(٢) الترجمة الحرفية للكلمة تعني أكل لحوم البشر، لكن اصطُلِح علىٰ استخدامها فلكيا للتعبير عن ظاهرة الاندماج بين مجرتين متجاورتين أحدهما كبيرة والأخرىٰ صغيرة نتيجة الجاذبية مما ينتج عنه مجرة أكبر، ومع ذلك، ينبغي ألا يخلط بين هذه العملية وبين تصادم المجرات، وهي عملية مشابهة تتصادم فيها المجرات، ولكنها تحتفظ بالكثير من شكلها الأصلي. ففي العملية الأولىٰ تتوقف المجرات عن الحركة بعد الاندماج؛ لأنها لا تملك المزيد من الزخم، بينما في العملية الأخيرة، يتفوق شكل المجرات الأكبر علىٰ الشكل الأصغر. (المترجم).

(٣) هو علم يبحث في أصل الكون ونشأته وتاريخه وتطوره ودراسة بنية الكون الضخمة بما تحتويه من مادة وطاقة. (المترجم).

(٤) في علم الكونيات يشير مصطلح البنية الواسعة النطاق (large-scale structure) إلىٰ وصف توزيعات المادة والضوء القابلة للملاحظة علىٰ أكبر المقاييس (وعادة يقدر بمليارات السنين الضوئية). (المترجم).

الحياة. وقد دُعِي للحديث عن فلسفة الدين وفلسفة اللاهوت في ندوات سانت توماس الصيفية خلال عامي ٢٠١١ و٢٠١٥، كما دُعِي أيضًا للحديث عن فلسفة علم الكونيات بالمدرسة الصيفية التابعة لجامعة كاليفورنيا، إلىٰ جانب إلقائه العديد من المحاضرات العامة كما أنه يدون علىٰ كلٍّ من هذين العنوانين الإلكترونيين: (letterstonature.wordpress.com)، (tweets@lukebarnes83).

«يصحبكم زميلَي «جيراينت» و«لوك» في جولة حول الكون بجُلِّ عظمته وغموضه. وسوف ترون أن البشرية تبدو جزءً من عدَّة ظروف استثنائية، تشمل زمنًا مُعينًا، حول كوكب محدَّدٍ، يدور حول نجمٍ مخصوص، وكلها داخل في كونٍ مُشيدٍ علىٰ نحو مخصوص. إنها تلك الظروفُ التي سمحت لنا كبشر بالتفكُّر في موقعنا من المكان والزمان. فليس لدي أدنىٰ فكرة عن سبب وجودنا هنا، بيد أنني علىٰ علم بأن الكون جميل. والكتاب الذي بين يديك يصوِّر الجمال الخفي للكون بطريقة يمكن للجميع مُعايشتُها».

«بريان شميت» (Brian Schmidt)، الفائز بجائزة نوبل في الفيزياء عام ٢٠١١، وأستاذ بالجامعة الأسترالية القومية بالعاصمة كانبرا.

«يقدم كلٌّ من «جيراينت لويس» و«لوك بارنز» جولة أخاذة في الفيزياء المعاصرة، انطلاقًا من المستوىٰ دون الذري وحتىٰ المستوىٰ الكوني. وما من موضع إلا ويخلُصان فيه إلىٰ أن الكون قد ضُبِطَ ضبطًا دقيقًا لأجل بنية مُتطورة جدًا فلو أن كتل الكواركات، أو القوىٰ الأساسية، أو الثابت الكوني كانت شديدة الاختلاف؛ لكان الكون محض خرابة قاحلة. لذا تبدوا ردود الأفعال منحصرة إما في تبني الأكوان المتعددة أو التصميم. وقد أقام المؤلفان دعوىٰ قوية لصالح خصوصية كوننا».

«تيم مودلين» (Tim Maudlin)، جامعة نيويورك

«لقد كان من الممكن ألا تسمح طبيعة الكون بوجود حياة ألبته. فالسؤال الإنساني الذي يطرح نفسه هو: لماذا توجد ثوابت الطبيعة -الداخلة في قوانين فيزيائية متعددة- علىٰ ما هي عليه مما يسمح بنشأة الحياة؟ ومن ثَمَّ، فإن هذا

الكتاب المثير هو عبارة عن تفسيرٍ مفصَّلٍ ومُحكَمِ الصياغةِ لسائر تلك الطرق التي -من خلالها- تُؤَثِّر الثوابت الفيزيائية في إمكانية الحياة، وذلك بالتأمل في الفيزياء الذرية والنووية والجسيمية، وكذلك الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات. ثم يناقش (هذا الكتاب) بسعة أفق وتقبل تلك التفسيرات المتنوعة التي قد يفسِّر البعض بها هذا الضبط الدقيق المستغرَب، وكذلك الحلول الممكنة الدائرة بين الصدفة المحضة، أو وجود أكوان متعددة، أو تفسيرات تتضمن وجود إله. فهذا الكتاب يقدم أكثر النقاشات المعاصرة شمولية لتلك القضايا المثيرة؛ ولذا أوصي به بشدة.»

«جورج إيليس» (George Ellis)، جامعة كيب تاون، بجنوب أفريقيا.

إن كتاب كلٍّ من «لويس» و«بارنز» هو البيان الأحدث والأدق والأشمل للاستدلال علىٰ أن الكون مضبوط بدقة لأجل الحياة. ومع أنه يعالج أكثر قضيتين تعقيدًا من الناحية الفلسفية، إلا أنه يظل دومًا في متناول القُرَّاء غير الأكاديميين؛ ولذا أوصي به بشدة.»

«روبين كولينز» (Robin Collins)، كلية المسيح، جامعة بنسلفانيا.

تقديم

يتمتع الكون بأناقة جميلة -بما يشبه مقطوعة موسيقية لـ «باخ»[1]- حيث يحكمه قوانين عالية الدقة رياضيا لدرجة توحي بأنها مضبوطة وفقًا لبندول الإيقاع. فمعادلات الفيزياء تلك متزنة بدقة، حيث إن ثوابت الطبيعة التي تُشكل جزءً أساسيا من المعادلات مضبوطة عند قِيم تسمح بوجود كوننا الرائع علىٰ هيئة تمكننا -نحن البشر- من دراسته. حتىٰ إن أي تغير طفيفٍ يطرأ علىٰ تلك الثوابت؛ يجعل لدينا فجأة -في غضون تجربة ذهنية- كونًا بلا ذرات، أو كونًا لا يمكن تشكُّل كواكب فيه. ومن ثمَّ، يبدو أننا محظوظون حقًّا لأننا جزء من هذا الكون.

إن إحدىٰ الحجج العقلانية المُحْكَمَة علىٰ ما يبدو -للتوافق مع تسلسل الحظ السعيد هذا- هي: بما أننا موجودون؛ فلا بد وأننا نعيش في كونٍ يمكننا الوجود فيه. بيد أن هذه الفكرة تحمل في طياتها فكرة أن هذا الكون -كوننا- تم اختياره من بين العديد من الأكوان، ولا يوجد دليل -مع أو ضد- طريقة تشييد الطبيعة تلك.

إن كوننا هذا هو الكون الوحيد الذي لدينا، مما يمثل مشكلة بارزة لمن يدرسونه، من حيث: لماذا هو موجود بالطريقة التي هو عليها؟ فالعلم قائم علىٰ استخدام الأفكار -التي كثيرًا ما تسمىٰ بالنظريات- لوضع توقعات. ولكن ما

---

(١) موسيقي ألماني شهير

الذي يحدث حينما لا يوجد سوىٰ شيء واحد يمكن رصده -كما الحال في كوننا؟ هل يمكن لنظرية ما أن تضع توقعات حينما يتوقف صحة الشيء من خطأه علىٰ اعتبارٍ واحد؟

يصحبكم زميلي «جيراينت» و«لوك» -خلال هذا الكتاب- في جولة حول الكون بمجمل عظمته، وسائر غموضه. وخلال هذه الجولة، سوف نتعرف علىٰ المعادلات الأساسية لميكانيكا الكم التي تحكم وجودنا، وكذلك المفاهيم المتعلقة بالطاقة والإنتروبيا (ولا تنخدع بوصفهم لكانبيرا، التي بها طاقة حرة أكبر بكثير مما قد يدركه أي من سكان سيدني علىٰ الإطلاق)، وكذلك الجاذبية -بالطبع- والتي هي الحاكم الأول للكون علىٰ المستوىٰ الكوكبي والمستويات الأكبر.

وفي أثناء رحلتك مع جيراينت ولوك، سترىٰ أن البشرية تبدو جزءً من مجموعة بارزة من الظروف المتضمنة زمنًا مخصوصًا علىٰ كوكب مخصوص، والذي يدور حول نجم مخصوص، وجميعهم داخل كون تم تشييده علىٰ نحو مخصوص. فمجموعة الظروف تلك هي التي سمحت للبشر بالتأمل في موقعنا داخل المكان والزمان. وليس لدي أدنىٰ فكرة عن سبب وجودنا هنا، ولكنني أعلم أن كوننا جميل. حيث يصوِّر كتاب «الكون المنشود» هذا الجمال الغامض للكون بطريقة يمكن للجميع أن يشهدها.

بريان شميت

الجامعة الأسترالية الوطنية

كانبرا

المقدمة

بالنسبة للإنسان، تبدو الحياة علىٰ الأرض مناسبة تمامًا. بالطبع، يواجه العديد من البشر بعض التحديات -كالفقر والمرض- في حياتهم اليومية، ولكن يتملكنا شعور أن هذا الكوكب خلق من أجلنا.

حيث نجد أنفسنا في مدار ذي موقع محدد بدقة، حول نجم مستقر، في منتصف عمره، كما تتوافق قوة عظامنا مع الجاذبية الأرضية؛ مما يسمح لنا بالتجول علىٰ سطح الكوكب بحرية. كما يوجد أكسجين للتنفس، وفي استطاعتنا إمداد أنفسنا بالطاقة من خلال هضم العديد من لذائذ النباتات والحيوانات التي علىٰ سطح الكوكب. فلم نكن لنعيش سوىٰ ثوانٍ معدودة لو أنه تم إنزالنا علىٰ أحد الكواكب المجاورة لنا. فقد كنا سنُسحَق ونُشوىٰ علىٰ سطح الزهرة، أو نترك لتنقطع أنفاسنا ونتجمد في الغلاف الرقيق للمريخ؛ وبذلك تمثل الأرض بالنسبة للبشر موقعًا خاصًا -جنة كونية إلىٰ حدٍّ ما- حيث تتهيأ الظروف تمامًا للحياة، بما في ذلك حياة البشر.

ولكن علىٰ مدار القرون القليلة الماضية، توصلنا إلىٰ اكتشاف كيف أننا نتلاءم بشكل رائع مع ظروف الأرض؛ فخواصنا الفيزيائية، وهياكلنا العظيمة، وأعضاؤنا، وحواسنا، ناتجة عن التغير والتطور المستمر للحياة علىٰ مدار الثلاثة مليارات ونصف عام الماضية، بما يتكيف مع الظروف المحيطة بنا[1]

---

(١) يبدو من كلامه أنه يتبنىٰ النظرة الداروينية لوجود الحياة وتطورها، ونحن لا نتفق معه في رؤيته ولا نسلم له بهذا (المترجم)

إن إدراك أن الأرض ليست فريدة يغير رؤيتنا حول موقعنا من الكون. فتبعًا للتقدم العلمي المستمر، اكتشفنا أن البشر جزء من شبكة الحياة، وأن الأرض ما هي إلا واحدة من بين العديد من الكواكب، وأن الشمس ما هي إلا نجم تقليدي علىٰ نحوٍ يبعث علىٰ السأم فموقعنا من الكون ما هو إلا كغيره من المواقع العديدة، وليس فريدًا بأي شكل.

ولكن التعمق أكثر في تلك التقدمات العلمية -عن طريق فحص مكونات الكون الأساسية- يكشف أننا لسنا عاديين كما يبدو. حيث تبدوا الجسيمات الأولية التي يتشكل منها كل شيء، والقوىٰ الأساسية التي تفرض التفاعلات، مضبوطة بدقة لأجل الحياة. فإن التلاعب القليل بأي منهما سوف يسفر عن كون ميت وقاحل.

مع كل خطوة في مسيرة العلم، تصبح قضايا الضبط الدقيق هذه أكثر أهمية. حيث نجد أننا نتساءل حول طبيعة العديد من الأشياء التي كانت أمرًا مسلمًّا بالنسبة لنا بدءً من نسيج الزمكان إلىٰ المرتكزات الرياضية للكون. وفي كل المستويات، نجد أن قدرة هذا الكون علىٰ خلق أشكال الحياة وإبقائها أمرٌ نادرٌ وملفت للنظر.

وقد لاقت مناقشة هذا الضبط الدقيق لأجل الحياة جمهورًا كبيرًا، من فلاسفة وفيزيائيين في قاعات الأوساط الأكاديمية، إلىٰ مؤمنين متدينين يرون اليد الخفية للإله. وقد جذبت هذه القضية انتباه أوساط الإعلام الشعبي، وأنتجت لغطًا جزافيا في أوساط متنوعة علىٰ الأنترنت. وفي كثير من الأحيان، يضيع العلم -وما يخبر به حقيقة عن الضبط الكوني الدقيق لأجل الحياة- في هذه الجلبة.

يهدف هذا الكتاب إلىٰ تقديم النظرة العلمية للضبط الدقيق للقوانين العلمية، والتوغل في آثارها في الأعمال الداخلية للكون. وسوف نستحضر آخر التأملات الأكاديمية والفلسفية لتوضيح ما يعنيه الضبط الدقيق فعليا، ولإعداد المشهد لما يمكننا استنتاجه من وجودنا كأحد أشكال للحياة.

لقد ظل هذا الكتاب وقتًا طويلًا في طور الإعداد، حيث تأتي الفكرة الأصلية من محادثات عابرة بين المؤلفين وغيرهم، تلك النقاشات والحجج التي تكمن في قلب العلم. وبينما نحن جالسون حول طاولة الحوار، تساءلنا حول توسع الكون، وطبيعة الإلكترونات، وكم يبلغ عدد الأنواع المختلفة من الأكوان التي يمكن أن تكون موجودة. وأعملنا تفكيرنا في تكوين المادة المظلمة والطاقة المظلمة، وتساءلنا بعمق عن إمكانية اختلاف الأشياء عما هي عليه. وهذا يقودنا سريعًا إلىٰ إدراك أن الحياة كانت ستكون صعبة جدًّا -إن لم تكن مستحيلة- في هذا البحر الشاسع من الأكوان الممكنة.

كل ما نأمله هو أن يبلور هذا الكتاب تلك النقاشات، بما يعكس **المسار الملتوي والصعب** للرحلة العلمية. كما نأمل أن يدفعك -الكتاب- إلىٰ التفكير بشأن السؤال الذي حملنا علىٰ هذا العمل، ذلك السؤال الذي أعْيا البشر من العصور الأولىٰ، وهو السؤال الذي نأمل أن نكون في الطريق إلىٰ إجابته، ألا وهو: لماذا نحن هنا؟

شكر وتقدير

«وما الذي يمنعك؟»؛ كانت هذه الكلمة إيذانًا بمولد هذا الكتاب. حيث قالها الدكتور كارل كروسيلنيكي -البارز في مجال تبسيط العلوم- حين أخبره جيراينت بأنه لطالما أراد أن يكتب كتابًا. ومنذ هذا الحوار الأولي، ظل الدكتور كارل مصدرًا دائمًا للمعلومات والإلهام والتحفيز.

وقد مثَّلت كتابة هذا الكتاب تحديا حقيقيا. بيد أن الحصول علىٰ هذا الكتاب مطبوعًا مثَّل لغزًا غامضًا، وخصوصًا بالنسبة لعالِمَي فلكٍ ليس لديهما علمٌ بصناعة الكتب. ولكن فنجانًا من القهوة علىٰ مقهىٰ «ميكايل هاوس» برفقة «فينس هيجز» من مطبعة جامعة كامبريدج وضعتنا علىٰ طريق النشر. فلقد كان دعمه واحترافيته في الوصول بنا إلىٰ هذا الحدِّ مثالًا يحتذىٰ به، وهو يستحق منا كل الشكر والتقدير.

كما ساهم العديد من الزملاء -القريب منهم والبعيد- في تطوير هذا الكتاب. ولذا أتقدم بالشكر لـ «مايك إيروين»، و«رودريجو إباتا» علىٰ الصور الفلكية، والشكر موصول لباسكال إلاي علىٰ المحاكاة الكوزمولوجية. كما يوجد الكثير والكثير ممن تسامرنا وتناقشنا وتجادلنا معهم حول سؤال الضبط الدقيق، الذين يصعب حصرهم في هذا المقام. ومن هنا، نأمل أن تكون قد اقتنعت بأن هذه المشكلة -التي تبدو هينَة- ليست هينَة كما تبدو.

نشكر نشكر أصحاب الأنفس الكريمة الذين تطوعوا لقراءة المسودات الأولىٰ من هذا الكتاب. شكرًا «نيك بيت Nick Bate»، و«جون شارب Jon Sharp»، ومراجعو «مطبعة جامعة كامبردج» المجهولين! كما نود أن نشكر «روبين كولينز Robin Collins»، و«ترينت دوجيرتي Trent Dougherty»، و«آلين هينلاين Allen Hainline»، و«أسامي كينوشي Osame Kinouchi»، و«مات باين Matt Payne»، و«جوش رازموسين Josh Rasmussen»، و«براد ريتلر Brad Rettler»، و«مايك روتا Mike Rota»، و«دانيال روبيو Daniel Rubio»، و«ستيوارت ستار Stuart Starr».

وبما أن الأصدقاء جزء مهم من الحياة؛ يتقدم جيراينت بالشكر لكل من «مات Matt» و«جون Jon» علىٰ الاجتماعات المتفرقة التي انعقدت علىٰ مدار الثلاثين عامًا الماضية، والتي أسفرت عن كثير من المرح والمغامرة. كما نشكر «رودريجو Rodrigo» علىٰ صداقته وعلىٰ مبارزاته الفكرية، في الفيزياء والاقتصاد والتاريخ والبيولوجيا وغير ذلك الكثير، بالإضافة إلىٰ الساعات العديدة التي ناقشنا فيها فرضية يوم القيامة لجوت[١]

لقد وجدنا من أهلنا حبًّا ودعمًا غير محدودين. قد تكون الكلمات قاصرة، ولكن نقول لـ «برين Bryn» و«ديلان Dylan»: أنتما أروع وأفضل ماحصل في حياة جيرانت منذ ان ابصرت عيناكما النور علىٰ هذا الكوكب. أنتما أكثر روعة وأهمية من أي شخص إذ لا ينافسكما إلا زندكا Zdenka. وبالنسبة لأبوي وأخي، آمل أن يفسر هذا الكتاب لهما ما أقوم به بالفعل لكسب العيش!

---

(١) برهان يوم القيامة: هي حجة احتمالية تقوم بالتنبؤ بعدد أفراد البشر في المستقبل، في ضوء اعتبار مجمل عدد البشر الذي ولدوا من البداية وحتىٰ الآن، بساطة، تقول أنه بافتراض أن جميع البشر يولدون في ترتيب عشوائي، فهناك احتمالات أن أي إنسان يولد تقريبا في الوسط. وتفترض هذه المبرهنة أن الجنس البشري لن يستمر إلىٰ الأبد. ويعد عالم الفيزياء الفلكية أول من طرح هذه المبرهنة عام ١٩٨٣م، وتم تأييدها فيما بعد من قبل الفيلسوف ليزلي، واكتشفت بشكل مستقل كذلك من قبل العالم الفيزيائي ريتشارد جوت. (المترجم)

كما يتقدم «لوك» بالشكر لـ «جيراينت» أن دعاه ليكون مؤلفًا مشاركًا لهذا الكتاب، وعلىٰ طبعه الفريد ذي الحماسة المفرطة والذي يعتمد عليه. ونتقدم بشكر خاص لكل الجماهير التي تفاعلت مع نقاشاته حول الضبط الدقيق، وخصوصًا الفلاسفة الذي شاركوا بندوات توماس الصيفية عام ٢٠١١ و٢٠١٥ حول «الفلسفة والدين»، التي أشرف عليها مايك روتا Mike Rota ودين زيمر مان Dean Zimmerman. وقد تلقىٰ لوك منحة من مؤسسة جون تيمبلتون John Templeton Foundation.

كما يتقدم «لوك» بالشكر لـ «برناديت»؛ فالزواج بامرأة ترغب في دعم كتابة الكتب، والسفر، ولعب الكريكيت ظهر السبت، والعزف علىٰ القيثارة وأقول إنكم مذهلون! أقولها لأبنائي؛ لكونهم ألطف طفلين في عمر الخامسة والثانية علىٰ ظهر هذا الكوكب، يصِرَّان علىٰ معانقة وقبلة وتحية كل صباح قبل مغادرتي للعمل. وأقولها لوالدي وأقاربي؛ لحبهم الدائم ودعمهم؛ فهم «كالفوتونات التي في صندوق» كما هو موضح بالتفصيل في الفصل السادس.

لو أنه ثمة كلمات يمكن أن نقدمها لمؤلفين واعدين، فهي: اغتنما اليوم! باشرا العمل بالكتابة! وأرسلا تلك الإيميلات! وتذكرا أن الحظ يحالف الشجعان.

١- نقاش حول الضبط الدقيق

لست بحاجة الىٰ ان تكون عالما لتدرك جمال السماء في الليل، لكن بالنسبة **للكون**[١] فجماله ليس الا جزء يسر من ماهيته. بالنسبة للعلماء فالهدف هو كشف النقاب عن المجريات الداخلية للطبيعة، القواعد، والخواص التي تملي طريقة حركة وتفاعل قطع وأجزاء الكون.

بعد عدة قرون من التقدم العلمي، تلك القرون قد كشفت لنا الكثير عن قوىٰ كوننا الأساسية ولبنات بناءه، يواجه العلم سؤالا يبدو بسيطًا والذي يمكن لإجابته أن تغير تمامًا ما نعتقده بشأن العالم الفيزيائي.

وذلك السؤال هو «لماذا الكون مناسب تمامًا(مضبوط) لنشأة (تكوين) كائنات معقدة وذكية؟» قد يبدو هذا سؤالًا غريبا: بالطبع كوننا (أو علىٰ الأقل، هذا الجزء الموجودين فيه) مضياف للحياة البشرية نحن هنا، أليس كذلك؟ ولكن، هل كان يمكن -للكون- أن يكون مختلفًا؟ وكيف سيكون هذا الاختلاف؟ هل كان الكون سيصير عقيمًا ومجردًا من أشكال الحياة؟

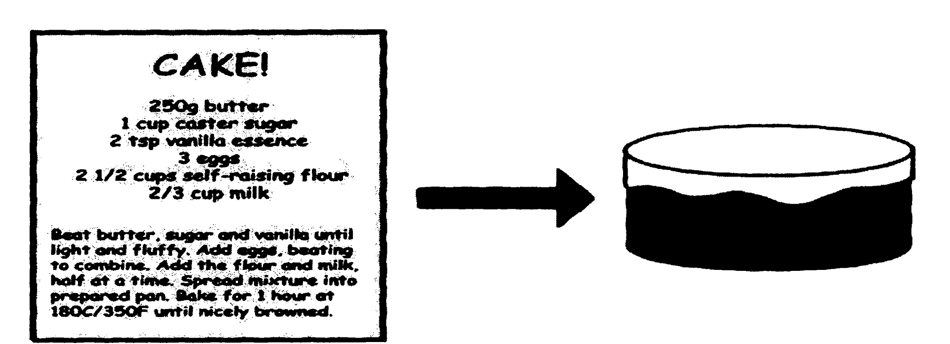
ربما تسأل نفسك «كيف كان يمكن أن يكون الكون مختلفًا؟» والإجابة هي القوانين الأساسية لمادته وطاقته كان يمكن أن تكون مختلفة. إن أفضل وأعمق نظرياتنا الفيزيائية، والتي تصف كيفية سلوك الكون، لا تتسم بأنها محكمة.

---

(١) خلال هذا الكتاب، فإن كوننا الذي نقطنه بالفعل سيبدأ بحرف كبير، بينما الأكوان الافتراضية ستكون بأحرف صغيرة

(فضفاضة) بالنسبة لكل القدرة التنبؤية لهذه القوانين، هناك بعض الكميات الأساسية لا يستطيع العلماء النظريين حسابها؛ علينا أن نتحايل بالحصول علىٰ النتائج من التجارب. هذه النهايات الفضفاضة تستغيث طلبًا لفهم أعمق.

مثل كُتّاب روايات التاريخ البديل[1]، يمكن أن نسأل أسألة افتراضية بخصوص الكون. علىٰ وجه التحديد، مدىٰ اختلاف الكون إذا وُلد بمجموعة مختلفة من الخواص الأساسية؟



شكل ١ : وصفة كعكة توضح الضبط الدقيق. تستطيع أن تغير في الكميات المكونة للكعكة بشكل طفيف وستظل تصنع كعكة لذيذة المذاق. لكن التغيير بشكل مبالغ فيه، وإضافة العديد من المكونات الإضافية أو إزالة العديد من المكونات، وتعطي نتائج عبثية غير صالحة للأكل.

هل كان الكون ليكون لو أنه ولد بخصائص أساسية مختلفة؟

هذه الأكوان الافتراضية ربما لا تكون مختلفة بشكل كبير عن كوننا، ولذلك يمكننا أن نخمن أنها ستكون ملائمة كذلك لحياة الإنسان. أو أنها ستكون مختلفة جذريا، لكن لا تزال تسمح بنمط بديل للحياة.

---

(١) خيال يستند إلىٰ التاريخ ويستكشف ما كان يمكن أن يحدث إذا كانت أحداث تاريخية معينة، وأرقام، وما إلىٰ ذلك. ويعد سؤال ماذا كان سيحدث لو فشلت محاولة اغتيال كينيدي وظل علىٰ قيد الحياة؟ حدث شائع في التاريخ البديل، والروايات الملهمة، والمسرحيات والقصص القصيرة. المترجم

لكن ماذا لو كانت جميع الأكوان المحتملة عقيمة تقريبا، في ظل شروط بسيطة جدًا أو صارمة من أجل الحياة لأي نوع يمكن تصور نشأته؟ ثم فإننا نواجه لغزًا (معضلة). لماذا، في هذا البحر اللامتناهي من الاحتمالات تقريبًا، وُلد كوننا مع الظروف التي تسمح للحياة أن تنشأ؟

ذاك هو موضوع هذا الكتاب

مقدمة للضبط الدقيق

ماذا نعني بالضبط الدقيق؟ هيا لنبدأ ببساطة عن طريق التفكير حول تحضير كعكة (شكل١). قد تكون الخطوة الأولىٰ هي الحصول علىٰ كتاب الطبخ المفضل لديك وأن تجد وصفة - قائمة الإرشادات لتنتقل من مكونات خام إلىٰ كعكة لذيذة. امزج (ادمج) المكونات بالترتيب، قلَّب واخلط، اخبز لمدة ساعة، وأخيرًا تنتهي إلىٰ رف التبريد. أنت تعلم أنه في حين تقول الوصفة أضف ملعقتين من الطحين، ولو زدت أو أنقصت القليل فإن الكيكة لا تزال تخرج بشكل صحيح.

ورغم ذلك، فإن مضاعفة كمية الدقيق، مع الاحتفاظ بنفس كمية المقادير الأخرىٰ كما كانت، قد يؤدي الىٰ نتيجة كارثية لعملية الخبز. وأي شيء أكثر من رشة ملح سيكون بشعًا للغاية. أنت تستطيع، بالطبع، مضاعفة كافة المكونات، والطبخ لفترة أطول قليلًا، وتنتهي بضعف الكعكة.

لذلك، فوصفة الكعكة التي تم ضبطها إلىٰ حد ما. يمكنك أن تغير بشكل طفيف الكمية لكل المكونات وينتهي الأمر بكعكة لذيذة. يمكنك كذلك ضبط تدرج (مقياس) الكميات لجميع المكونات بأقل أو أكثر، وإذا ضبطت وقت الطهي المناسب، فستكون علىٰ ما يرام. لكن بتغيير مبالغ فيه ربما تصنع فوضىٰ لا تصلح للأكل. مؤكد، أنك لو ألقيت المكونات عشوائيا، وأهملت أمر الخلط والخبز، ففرص خروج شيء صالح للأكل ستكون صغيرة إلىٰ حد ما.

إذا، هل تم ضبط الشروط اللازمة من أجل الحياة؟

دعنا نعتبر -نفترض- مثالا بسيطا والذي سنعود إليه لاحقا. إن كل شيء تستطيع رؤيته يتألف من ذرات، كرات ضئيلة موجبة الشحنة مُحاطة بإلكترونات مدارية. وكل إلكترون له نفس الكتلة بالضبط. فقط إلىٰ أي مدىٰ (كيف) سيختلف الكون عما هو عليه إذا وجد بإلكترونات كتلتها مضاعفة؟ في هذا الكون الافتراضي، فإن مدارات الإلكترون ستكون مختلفة، تغير حجم الذرات، وكذلك الجزيئات التي تُبنىٰ منها. ربما تصنع هذه الكتلة الجديدة اختلافًا ضئيلًا، يسمح لكائنات مثلنا أن توجد. لكن ماذا لو كانت كتلة الإلكترون أكبر بمليون أو مليار مرة؟ بهذه الفيزياء الذرية والجزيئية، هل يمكن لأشكال الحياة المعقدة أن توجد؟ بوضوح، يمكننا النظر -اعتبار- في مجموعة متنوعة من أكوان لاحصر لها، لكل منها كتلة مختلفة للإلكترون، والسؤال الجوهري للضبط الدقيق هو أي جزء من هذه -الأكوان- يمكنه توفير متطلبات وجود حياة معقدة.

قبل المواصلة، هناك التباس محتمل مع مصطلح الضبط الدقيق fine-tuning والذي ينبغي علينا معالجته. بالنسبه لفيزيائي، «الضبط الدقيق» يتضمن أنه يوجد حساسية لمحصلة (نتاج) بعض العلامات أو الافتراضات المُدخلة. فقط مثل صنع كيكة، إذا كانت تجربة تؤدي لنتيجة مدهشة -مثيرة- فقط لإعداد دقيق ومحدد، فيقال إن التجربة ضبطت بدقة بالنسبة إلىٰ النتيجة. الضبط الدقيق من أجل الحياة هو نوع من الضبط الفيزيائي، حيث يكون المُخرج -المنتج- حياة.

Radio Norwich

88 90 92 95 98 101 101 106 108 fm

530 600 700 850 1000 1400 1700 am

شكل ٢: جهاز راديو يمكنه استقبال مدىٰ واسع من الترددات[١]، لكن وضع اتصال معين وحيد سيسمح لك بالاستمتاع ب نوفولك نايتس Norfolk Nights علىٰ

---

(١) التردد هو عدد الاهتزازات في الثانية الواحدة (المترجم)

راديو نورويش[1] Radio Norwich 2 . «الضبط الدقيق» هو مصطلح مستعار من الفيزياء، ويشير إلىٰ التباين بين نطاق واسع من الاحتمالات ونطاق ضيق لنتيجة أو ظاهرة بعينها.

الضبط الدقيق هو استعارة، تلك التي تعيد إلىٰ الذهن جهاز الراديو القديم ذو المؤشر (قرص الساعة) الذي يلزم ضبطه بدقة من أجل الاستماع لنورفلوك نايتس علىٰ راديو نورويش (شكل٢). تتضمن هذه الاستعارة للأسف يدًا موجهة تضبط المؤشر، تعطي الانطباع بأن الضبط الدقيق يعني ترتيب بارع أو مصنوع من أجل هدف بواسطة صانع بارع. وسواء وجد هذا الصانع البارع لكوننا أم لم يوجد، فإن هذا المعنىٰ ليس هو المقصود لاستعمالنا للمصطلح. الضبط الدقيق مصطلح تقني مستعار من الفيزياء، ويشير إلىٰ التباين بين نطاق عريض من الاحتمالات ونطاق ضيق لنتيجة أو ظاهرة محددة. إن التشبيهات والاستعارات مقبولة تمامًا في العلوم -فالفضاء يتوسع كبالون متضخم، علىٰ سبيل المثال- ما دمنا نعي ما ما تمثله هذه الاستعارات.

لذلك هناك فرق بين سؤال «هل الكون مضبوط من أجل الحياة؟» بالمعنىٰ الفيزيائي، و«هل ضبِط الكون من أجل الحياة بواسطة خالق؟»

---

(1) Home of Alan Partridge, superb comic creation of Steve Coogan.

يوم جميل ومحادثة

ليس سهلا علىٰ الإطلاق تقديم مسائل معقدة - ولو سهلت فلن تكن معقدة إذًا. لذلك نحن نبحث عن الإلهام من ولادة الثورة العلمية، بالضبط عندما واجه جاليليو Galileo هذه المشكلة عند محاولته لتطوير الفكرة الراديكالية -الأصولية- التي ينبغي أن تزيل الأرض من مركز الكون، واقتراح بدلًا من ذلك أن الكواكب تدور حول الشمس. بالطبع، واجه جاليليو كذلك مشكلة الصراع مع المؤسسة الأكاديمية والكنيسة، والتي كانت لها توابع وخيمة في القرن السابع عشر.

لم يكن حل جاليليو كتابة مونولوج[1]، وإعلان حجته بشكل لا لبس فيه ونشرها في مجلة أكاديمية، كما يفعل عالم اليوم. ولتقديم فكرة تنافس أنظمة العالم "World Systems"، كتب جاليليو حوارًا، حيث يحاجج ثلاثة أبطال سالفياتي Salviati، ساجريدو Sagredo، وسيمبليسيو Simplicio عن مزايا إعادة ترتيب النظام الشمسي. هذا الحوار يعيد إلىٰ الذهن النقاشات في الوسط الأكاديمي أو النادي وكليهما.

فيما يلي، نريد أن نقدم لك المبدأ الجوهري لهذا الكتاب، وهو السؤال عن ما إذا كان الكون قد تم ضبطه من أجل أن تزدهر الحياة. ربما يظن البعض أن هذا سؤال فارغ نوعا مًا، ولكن بمجرد أن ندرك أننا لا نعلم بالضبط لماذا الكون علىٰ ما هو عليه، فإن السؤال «ماذا لو كانت الأشياء مختلفة؟» يصير مشوقًا للغاية ويؤدي إلىٰ نتائج مدهشة لحد ما.

---

(١) -مشهد مسرحي يؤديه ممثل بمفرده (المترجم)

إن حورانا سيقوم بتهيئة المشهد من للفصول القادمة من أجل اختبار الحياة وقابلية العيش وفهمنا لطبيعة اساسيات الكون. رغم أن، الحوار قد يكون عملا شاقا (قراءة مسرحية لشكسبير Shakespeare أصعب بكثير من رؤيتها تُمثّل) والفصول القادمة ستعود إلىٰ أسلوب كتابة أكثر أريحية.

بالطبع، فإن «إدارة-الحديث» المعاصرة قد تخلصت من الحوارات، المحادثات، المناقشات والخطابات ولإرضاء الإدارة الوسطىٰ حيثما كانت فإننا نقدم مناقشة عصف ذهني عملية المنحىٰ لتمييز الإضافات[1] المتعلقة بالضبط الكوني الدقيق من أجل الحياة.

الراوي: يقع مشهدنا بين شواطيء سيدني الرملية والمنحدرات الصخرية. حيث أجزاء سيدني التي لا يراها السياح، بما في ذلك تفرعات -شرايين- الطرق السريعة والتجمعات السكنية المكتظة، هناك العديد من البؤر الجميلة والهادئة حيث حيث يمكن للمرء ان يجلس فيها ليتأمل الحياة. تبدأ قصتنا في ركن -زاوية من هذا القبيل-، في يوم صحو وجميل، مع اثنين من علماء الكونيات ويتأملون الكون.

جيراينت: إنه لوقت مدهش في علم الفلك. لعقود، ونحن نعلم بوجود مليارات النجوم في مجرتنا، ومليارات المجرات في الكون. بفضل الرحلة الفضائية كيبلر، فنحن نعلم الإن أن معظم النجوم لديها كواكب. العديد من الكواكب قد يعني العديد من الحياة.

لوك: نعم، هناك الكثير من الكواكب، لكن ذلك لا يعني بالضرورة أن هناك العديد من الحياة. وحتىٰ لو كانت الحياة شائعة، فسنتوقع العديد منها أكثر قليلا من حثالة بركة -مستنقع-.

---

(١) هذه العبارة تكررت مرات عديد أثناء سمنار -مناقشة علنية- حضرناه بعنوان «ينبغي علىٰ العلماء أن يكونوا أكثر ريادية -روح مبادرة-». وليس لدينا أية فكرة ماذا تعني.

جيراينت: لكن الحياة نشأت هنا! ولو كانت قوانين الفيزياء هي نفسها في كل مكان في الكون، فعندها ألا ينبغي أن نتوقع توقعات -آفاق- الحياة أن تكون متشابهة؟

لوك: يتطلب الأمر أكثر من الفيزياء نفسها. من البديهي أنك إذا كنت ستصنع حياة مبنية علىٰ أساس كربوني ويمكن تنفس الأكسجين فيها وتشتغل بقوة النجم . ، فعندئذ ستحتاج إلىٰ بعض الكربون وبعض الأكسجين وبعض النجوم. ولكننا لا نعرف كيف نشأت الحياة لأول مرة. لدينا بعض الأدلة حول كيفية حدوث ذلك، لكن لا أحد يعلم التفاعلات الكيميائية التي تربط بين تفاعلات البركة الدافئة الصغيرة وخلية حية. ومع ذلك فمن الواضح ان هنالك أمكان أسوء بكثير من الأرض.

جيراينت: أظن -أعتقد- أنه ليس علينا سوىٰ النظر إلىٰ كتل الصخور النائية في نظامنا الشمسي. بلوتو متجمد، ولا تتمتع أي حياة هناك بدفئ الشمس الضروري للحياة اذا ان ما تحصل عليه من -ضوء الشمس- لا يفي بالغرض.

لوك: صحيح. الحياة تحتاج إلىٰ نوع البيئة الصحيح -المناسب-. ولكن أيضا قوانين الفيزياء تؤدي دورًا رئيسيا.

جيراينت: كيف ذلك؟

لوك: حسنا، من بضعة جوانب. هناك أجزاء رئيسية تتمتع بها قوانين الفيزياء. أولا، هناك لبنات بناء الكون، المادة. ثم هناك الطرق التي يمكن لوحدات البناء هذه أن تتفاعل بها، وهي القوىٰ الأساسية. وقوانين الفيزياء أيضا تقتضي المرحلة مسبقا، المكان والزمان الذي توجد فيه لبنات البناء وتتفاعل.

جيراينت: حسنا. هذه هي الفيزياء للمبتدئين: جسيمات، ذرات، جزيئات، جاذبية، مغناطيسية، ضوء ونشاط إشعاعي. كتاب القواعد لكيفية سلوك الكون.

لوك: بالضبط. نحن النتيجة لتفاعل قوانين الفيزياء علىٰ مدار تاريخ الكون. هذه القوانين التي تمنح القوة للشمس، تصيغ -تشكل- العناصر، تبني الكواكب، تشكل الجزيئات وتقود كيمياء الحياة.

والإن يمكننا أن نسأل: ماذا لو؟ ماذا لو كانت قوانين الفيزياء مختلفة؟ ماذا لو امتلكت لبنات البناء، الذرات والجزيئات كتل مختلفة؟ ماذا لو كانت القوىٰ الكهربية والمغناطيسية أقوىٰ، أو كانت الجاذبية طاردة؟ ماذا لو كانت العناصر أكثر إشعاعا؟ أو لم يكن هناك نشاط إشعاعي علىٰ الإطلاق؟ ماذا لو أسأنا فهم المرحلة؟ ماذا لو أننا نعبث بذات الزمان والمكان واللذان يشكلان المكون الرئيسي للكون؟ ماذا سيتغير في الكون؟ وماذا يعني هذا للحياة؟

جيراينت: لكن أليس هذا سؤال سخيف لطرحه؟ ما المغزىٰ من لعب -ممارسة- ألعاب «ماذا لو»؟

لوك: الفضول الإنساني، كبداية. الحياة تبدو طارئة -عرضية- جدا، لذلك فهي مليئة بالاحتمالات. هناك طرق عديدة جدا يمكن للأشياء أن تنتهي خلالها: لو أنني فقط أمسكت بتلك الحافلة، تلك الزهرية الهابطة، تلك الكرة أو تلك الفرصة النادرة للشهرة. لقد ألهمت تقلبات وتحولات التاريخ المقالات الأكاديمية بعناوين مثل «لو كان لويس السادس عشر قد امتلك ذرة من الثبات» و«موت سقراط في ديليام Delium ٢٤٢ قبل الميلاد» والعديد من الروايات التي تفيض بها الرفوف وتتناول إمكانيات والاستطلاعات والاحتمالات من فوز هتلر في الحرب العالمية الثانية، ومائة ألف (أو نحو ذلك) من مشاركات المنتديات علىٰ alternatehistory.com and counter-factual.net.

في العلم نحن نمارس لعبة ماذا لو لعدة أسباب. إننا نريد أن نعرف أي من نظرياتنا المتنافسة هوالأفضل. نحن نقارن نظرية ألبرت آينشتاين للجاذبية مع نظرية إسحاق نيوتن، إذ نقوم بحساب أيهما يعطي الوصف الأكثر دقة للكون الذي نراه حولنا. جزء من تلك المقارنة هو تساؤل: ماذا سيكون شكل الكون لو كانت نظرية نيوتن صحيحة؟ ماذا كنا سنلحظ لو آينشتاين كان محقا؟

أيضا، حتىٰ أفضل وأعمق نظرياتنا الفيزيائية لديها نهايات فضفاضة، هناك أرقام في المعادلات لا تستطيع النظرية التنبؤ بها. علينا فقط أن نقيسها. وهي ما يسمىٰ بثوابت الطبيعة. لماذا لديها القيمة التي نقيسها؟ لو امتلك هذا الكون

إجابة، فيجب أن يقبع خلف نظرياتنا الحالية. ربما نستطيع الحصول علىٰ دليل من تساؤل «ماذا لو كانت هذه الثوابت مختلفة؟»

جيراينت: لماذا نظن أنها يمكن أن تكون مختلفة؟ بكلمات أخرىٰ -بمعنىٰ آخر-، لماذا الاعتقاد بأن هذه الأكوان الأخرىٰ ممكنة؟

لوك: إننا لا نعلم ما إذا كانت ممكنة - هذا ما نود تعلمه من قانون الطبيعة الأعمق، والأبسط ووالأكثر توحيدًا. ربما هي ثوابت رياضية، ولا يمكنها أن تتغير بدون استبدال النظرية بأكملها. ربما هي ليست ثوابت علىٰ الإطلاق، ولكنها تتنوع من مكان لآخر.

جيراينت: حتىٰ لو عبثنا بقوانين الطبيعة، ما كيفية الاختلاف المحتمل للكون؟

لوك: حسنا، يمكنك افتراض ذلك لأن الحياة متقلبة بشكل كبير، إذ أن أي كون قديم سيتمكن من صنع شيء حي. لقد استجمعت الحياة شتاتها من خليط من التفاعلات الكيميائية في هذا الكون. بل ربما ان أي كتاب لأساسيات الكيمياء سيفي بالغرض. أو يمكننا بالفعل فحص -التحقق- من تلك الأكوان الأخرىٰ. إنه لممتع أن تفكر في أي حالة ستكون الظروف عليها لو غيرنا قوانين الطبيعة.

جيراينت: إذا، حسنا.

لوك: الشيء المدهش، اكتشف بواسطة العلماء الذين قاموا الحسابات اللازمة، أن العبث بقوانين الطبيعة يغير جذريا من عمل الكون. يوجد العديد من الاكوان غير صالحة للحياة بل حتىٰ انه يوجد اكوان عقيمة تمامًا. إذا انه لمن السهل ان تخرب كونا ما.

جيراينت: حسنا، هذايجعل كوننايبدو كصدفة سعيدة نوعًا ما. كيف لكل الأجزاء الصحيحة أن تواجدت في كوننا؟

لوك: تماما، تلك هي مشكلة الضبط الدقيق. لماذا كوننا يمتلك مزيجًا من الجسيمات والقوانين الأساسية التي سمحت لنا أن نكون هنا لنطرح أسئلة في

المقام الأول؟ الضبط الكوني الدقيق من أجل الحياة هو الإدراك بأنه لو كانت قوانين الفيزياء مختلفة، ولو قليلًا، فلم تكن الحياة لتوجد أساسًا.

جيراينت: إذا، ما الحل؟

لوك: حسنا، ماذا عليناأن نفعل عندما نواجه شيئا يبدو غير ممكن؟ ربما هو فقط شيء غير محتمل - نهاية القصة. ربما لا لم يكن غير محتمل كما نعتقد. ربما يبدو كاليانصيب - التذكرة الرابحة غير مستبعدة بشكل كبير لأن العديد من الناس يشترون عدة تذاكر.

تلك الفكرة الأخيرة، التي طبقت علىٰ الضبط الكوني الدقيق من أجل الحياة، طموحة إلىٰ حد ما. إنها تفترض أن الكون المناسب لوجود الحياة بسبب أن هناك جموع لا تحصىٰ من الأكوان باحتمالات مختلفة. في اليانصيب الكوني، نحن محظوظون.

جيراينت: يبدو كخيال علمي.

البعض يعتقد ذلك. الإخرون، يرون عدم وجود أفكار معقولة لشرح قيم ثوابت الطبيعة، يأخذون الفكرة علىٰ محمل الجد.

جيراينت: ونحن؟

لوك: نحن نكتب كتابًا حول هذا.

مراجعة الأساسيات

قبل أن يتسنىٰ لنا بدء الرحلة في هذا الكتاب، فإننا بحاجة إلىٰ الاعداد من خلال طرح بعض الأسئلة التي تبدو بسيطة.

سؤال ١ :

ما هي الحياة؟

سنتحدث كثيرا عن الحياة لذا نود أن نبدأ بتعرف لماهيتها -الحياة- إلا أن هذا من شأنه أن يضعنا مباشرة أمام مشكلة. إذ انه ثبت انه لا يمكن ان نقوم بإيجاد تعرف دقيق ومحدد لماهية الحياة. يمكننا جميعا رؤية الفرق بين نوع الشيء كونه أرنب ونوع الشيء كونه صخرة. فالأرنب يمكنه رؤية الثعلب قادمًا ويهرب إلىٰ جحره؛ الصخرة قد يتم دفعها إلىٰ ثقب بعامل الرياح إلا أن هذانوع تفاعل مختلف تماما. هل تعرف -تحدد- الحياة بقدرتها علىٰ الاستجابة للعالم الخارجي؟ الصخور تستجيب للرياح. لكن الأرنب يتفاعل طبقا لمعلومة أن «ثعلب قادم»، حتىٰ لو لم يفكر واعيا بهذا الاعتقاد، هل ذلك ما يحدد -يعرف- الحياة؟ أو هو القدرة علىٰ الإنتاج -التكاثر-؟ معروف أن الأرانب تنتج أرانب؛ الصخور يمكنها أن تتحطم إلىٰ العديد من الصخور الصغيرة؛ ولكن مجددا فهذا نوع مختلف تمامًا. الأرانب تصنع المزيد من الأرانب بواسطة وصفة صنع الأرانب الداخلية. الإرشادات -التعليمات- الخاصة بإنتاج الأرانب موجودة داخل الأرنب، مشفرة كمعلومات، وتُجرىٰ -تنفذ- عن طريق التكاثر البيولوجي

-الحيوي-. تنوع وتغير هذه الشفرة الحيوية هي ما يصنع كل جيل، وكل نوع، مختلف ومع ذلك، افترض أننا التقينا كائن حي فضائي والذي يمكننا من إجراء دردشة عرضية حول المناخ علىٰ كوكب المريخ وما قد يعلمونه حول قوانين الطبيعة. إذا حدث وذكر كائن فضائي أن نوعهم لا يتكاثر - ربما هم طائرات آلية عقيمة، ينحدرون من ملكة ميتة منذ وقت طويل لكنهم قادرون علىٰ العيش لأجل غير محدود- إننا لا نسيئ لضيوفنا بالبوح أمامهم: «أوه، آسف كنت أعتقد أنكم علىٰ قيد الحياة.» تحتاج الكائنات الحية إلىٰ سحب -استخلاص- الطاقة من بيئتها واستخدامها -وتهيئتها للاستخدام-. وبالتالي فهل هذا التمثيل الغذائي هو السمة المميزة للحياة؟ بوجه عام، تبدو الحياة لديها القدرة للحفاظ علىٰ حالة تنظيم داخلية ضد بيئة متغيرة. فأشكال الحياة تنمو وتزدهر ولا تتآكل ببساطة وتتحلل.

أحدالمشاكل في صياغة تعريف للحياة هو الحالات الصعبة، الحدود الفاصلة بين الأحياء وغير الأحياء. هل الفيروس أحد أشكال الحياة، حتىٰ لو اعتقدنا أنه لا يتكاثر بانقسام الخلية؟ ماذا عن البريونات والتي هي أكثر من مجرد جزيئات بروتين غير متسقة الشكل ولكنها مسؤولة عن مرض جنون البقر؟ تتكاثر كلا من البريونات والفيروسات باختطاف -بالانقضاض- آلية الخلية السليمة، لكن هل هذه هي الحياة؟ الحاسوبات والروبوتات يمكنها الاستجابة للمعلومات المتعلقة بيئتهم. فهل هم أحياء؟ يمكن للبلورات أن تتشكل، تنمو وتنشيء هيكلا. فهل هم أحياء؟ رغم أنهم لا يفعلون هذه الأشياء طبقا لشفرة داخلية، مثل الدي إن إي DNA (الحمض الصبغي الخلوي) في خلايانا؟

سنتطرق في حوارنا الىٰ المزيد من الأسئلة الغامضة المتعلقة بالحياة. سنكون مهتمين بالشروط -الظروف- التي بموجبها تتشكل الحياة، وكيفية شيوع هذه الظروف في أرجاء كوننا وخارج نطاقه. سيكون حوارنا رائعا إذا استطاع أن يقدم اللازم لتشكيل وصفة للحياة كما أشرنا إلىٰ مثال وصفة مزيج الكعكة في الصفحات السابقة:

١ نجم

١ سطح كوكب (لا بارد جدا ولا حار جدا)

رش (انثر) سطح كوكبك ب

١٠ أجزاء ماء

٥ أجزاء كربون

٣ أجزاء أكسجين.

حفنة (قليل) من، هيدروجين، نيتروجين، كالسيوم، فوسفور، بوتاسيوم، كبريت، خمسة توابل، زيت زيتون، عصرة ليمونة (للتذوق).

اخبز باستخدام الحرارة المتبقية من المراحل المبكرة لتشكل الكوكب. عندما تكون القشرة ثابتة -راسخة- عرضها لضوء النجم لمدة مليار عام، وارويها بشكل مستمر بالماء القادم من تصادم المذنبات حتىٰ يكون ملمسها ثابت.

حرك مع النيازك والبراكين

تحفظ في درجة حرارة الغرفة (مع الزخرفة)

لسوء الحظ، ليس لدينا إلا إشارات لتسلسل الأحداث التي شكلت الحياة علىٰ الأرض. هذه مشكلة علمية صعبة بشكل ملحوظ، لثلاثة أسباب. **أولا**، الحياة -حتىٰ خلية واحدة «بسيطة»- معجزة من التعقيد. حتىٰ خلية في جسدك، علىٰ سبيل المثال، لديها آلات جزيئية لتحريك نفسها، ووضع العلامات ونقل الجزيئات، ومعالجة الطعام، والدفاع ضد الغزاة، ومضاعفة الحمض النووي DNA وإصلاحه، وإنتاج البروتينات واستقبال ومعالجة الإشارات الخارجية. وفوق كل ذلك، هذه الإلة -الماكينة- بأكملها يمكنها تجزيء -تمزيق- نفسها إلىٰ نصفين وإنتاج نسخة عمل كاملة في ٢٠ دقيقة. ورغم تقدم الحواسيب الحالية وما وصلت إليه من مستوىٰ رائع إلا أنها لا تزال عاجزة عن فعل أمر كهذا.

ثانيا: دراسة أصل الحياة هو عمل يقوم علىٰ التقصي أي أشبه بعمل محققي الجرائم في جمع الأدلة، إلا أن العلماء يحاولون تجميع أجزاء حدث مجهري

بعد مرور أربعة مليارات سنة من حدوثه علىٰ مسرح جريمة بحجم الأرض بتغيراتها المستمرة التي تسببها المياه والرياح وإزاحة الصفائح.

ثالثا، وأسوأ من ذلك، أن أصل الحياة قد يكون حدثًا نادرًا للغاية، حتىٰ في ظل الشروط الصحيحة. الطريقة التي تتشكل بها الحياة قد لا يكون من الممكن أنه حصل إلا لمرة واحدة أو أقل في المجرة. هذا يجعل وظيفة العلماء أكثر صعوبة، كما أنهم قد يبحثون عن مجموعة ظروف فردية. فأي حظ -صدفة- إحصائية كانت مسؤولة عن -نشأة- الحياة كما نعرفها؟[1]

هل يجب علينا التوقف هنا؟ إذا لم نعرف الظروف لنشأة الحياة، كيف لنا أن نعرف كيفية تغير تلك الظروف مع قوانين فيزياء الكون؟

دعنا نغوص -نتعمق- في مثال، قبل استعراض الفصول اللاحقة. يبدو أن كوننا يشتمل علىٰ شكل من أشكال -نوع من الطاقة- الطاقة والذي يعمل ضد للجاذبية. نحن نعلم هذا من خلال تأثيره علىٰ التوسع الكوني، ولكننا لا نعلم ما كنهه. ولتجسيد هذا الجهل، فقد أطلقنا عليه اسم الطاقة المظلمة: اسم غامض لطيف يضمن أن علماء الكونيات يثيرون اهتمام وسائل الإعلام.

الطاقة المظلمة قد تكون أشباء عديدة، تشمل شيء يسمىٰ طاقة الفراغ، والذي، تظل الطاقة موجودة عند خلو المكان حتىٰ عند عدم وجود جسيمات.

أفضل نظرية لدينا لتركيب المادة تخبرنا أن نوع المادة الأساسي سيساهم في طاقة الفراغ هذه، سواء بالإيجاب أو السلب. المرعب في الأمر هو أن الحجم المثالي لهذه المساهمات أكبر من كية الطاقة المظلمة في كوننا بمعامل ١ يتبعه ١٢٠ صفرًا أو بالتدوين العلمي $١٠^{١٢٠}$.

---

(١) ألا يجعل هذا أنه ليس من المرجح نشأة الحياة بعمليات طبيعية؟ لحساب احتمالية تكون الحياة في جميع أنحاء الكون بعمليات طبيعية، فسنحتاج لمعرفة حجم الكون. كم عدد الفرص المتاحة لهذا الاحتمال غير المرجح حدوثه؟ نحن لا نعلم حجم الكون، لذلك فنحن لا نعلم كيف نجري ذلك الحساب. ليس هناك سبب لتؤمن أن حجم الكون المنظور (جزء من الكون امتلك ضوءه الوقت ليصل إلينا هنا) هو أي مؤشر لحجم الكون كله.

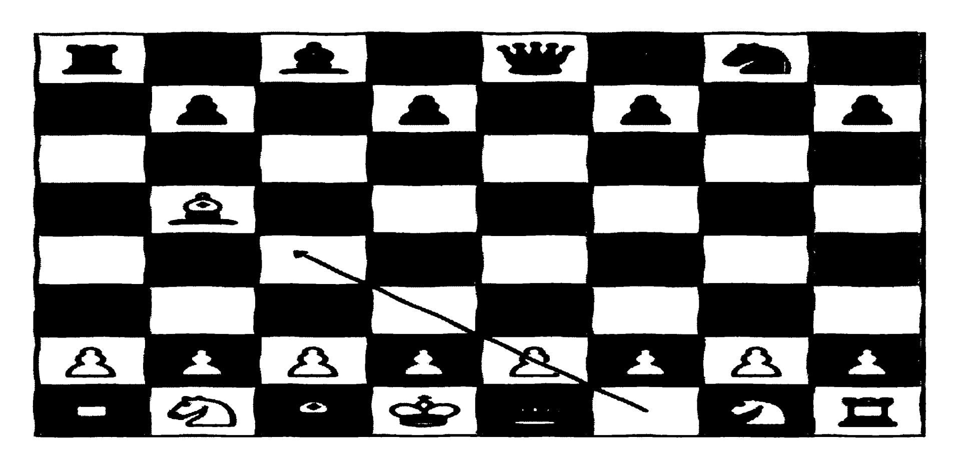
ماذا كان سيحدث لو أن كمية الطاقة المظلمة في كوننا كانت، لنقل، أكبر بتريليون مرة $١٠^{١٢}$؟ يبدو هذا كزيادة كبيرة، لكن هذا زهيد مقارنة بـ$١٠^{١٢٠}$. في ذلك الكون سيكون توسع المكان سريع جدا حيث لا مجرات، ولا نجوم ولا كواكب ستتشكل. الكون سيشتمل علىٰ بلازما رقيقة من الهيدروجين والهيليوم. علىٰ الأكثر، هذه الجسيمات ربما ترتد تجاه بعضها البعض بين حين وآخر، وتعود إلىٰ الفضاء لتريليون سنة أخرىٰ من العزلة الموحشة.

ربما لا نعرف تحديدًا ما هي الحياة، أو كيف تشكلت الحياة بالضبط، ولكننا نعلم أن الحياة ليست تلك. كون كهذا سيكون بسيطًا بشكل خيالي، نظرًا لأن المادة لن تتجمع مطلقًا بأعداد كبيرة تكفي لصنع أي شيء أكثر تعقيدًا من جزيء الهيدروجين. لأن الجاذبية لن تجعل المادة تنهار خلال المجرات أو النجوم أو الكواكب أو أي شيء، الفيزياء سهلة. سهلة جدا. أبسط جدا من أي شيء مثل الحياة.

عند هذه النقطة، غالبًا ما يستخدمون بطاقة الخيال العلمي كعذر، ويرددون بأن كون بسيط مثل هذا قد يشتمل علىٰ حياة ليست كالتي نعرفها، الحياة استثنائية وغير عادية لدرجة أن عقولنا البشرية الضعيفة لا يمكنها حتىٰ تخيل -تصور- وجودها. لكن الكلمة الهامة هنا هي الخيال. أي أصل -نشأة- للحياة ننظر إليه -نعتبره- يجب أن يستند علىٰ أساس علمي، وليس الخيال العلمي. يجب أن يوفر أي كون يمكن أن تنشأ خلاله حياة الشروط لتخزين ومعالجة المعلومات؛ بلازما رقيقة من الهيليوم والهيدروجين ببساطة لا يوفر هذا.

لنكمل التفكير حول الأكوان البسيطة مقابل المعقدة مع التوضيح. افترض أننا نحاول اختراع لعبة طاولة جديدة. ستكون إلىٰ حد مثل الشطرنج، لكن بقواعد مختلفة قليلًا. كمحاولة أولىٰ، سنقوم بتغيير بسيط للقواعد: فبدلًا من النص علىٰ أن القطعة الوحيدة التي يمكنها القفز خلال القطع الأخرىٰ هي الحصان، لعبتنا الجديدة ستنص علىٰ أن القطعة الوحيدة التي يمكنها القفز خلال

القطع الأخرىٰ هي الفيل. قبدلا من شطرنج قد اخترعنا شميس Shmess[١]



شكل ٣: كيف تحرز -تصنع- كش ملك في شميس schmess.

هل شميس لعبة مثيرة للاهتمام؟ انتظر دقيقة نحن لم نعرف مصطلح مثير للاهتمام. كيف نستطيع أن نقرر ما إذا كانت لعبة مثيرة للاهتمام إذا لم نعلم بالضبط معنىٰ ذلك المصطلح، أو لو وجد أناس مختلفون أشياء مختلفة مثيرة للاهتمام؟ في النهاية، إنه لا يهم كثيرًا. جزء مما يجعل الشطرنج مثيرة للاهتمام لدىٰ عشاقها هو استراجيتها المعقدة. كتب استراتيجية الشطرنج قد تصل إلىٰ مثات الصفحات، وجراندماسترز Grandmasters يقضي عمره في تعلم اللعبة. لو، من ناحية أخرىٰ، كنا بصدد كتابة مقدمة عن استراتيجية شميس، فستحتاج جملتين فقط: «الأبيض يحرك فيله من إف١ f1 إلىٰ بي٥ b5. كش ملك»[٢] هذا كل شيء. انتهت اللعبة قبل أن يقوم الأسود بأول حركة (شكل٣).

نحن لسنا بحاجة لتعريف دقيق لمصطلح «مثير للاهتمام» لنستنتج أن اللعبة التي يفوز خلالها لاعب واحد دائما واللاعب الإخر دائما لا يقوم بأي شيء هي

---

(١) هذا مصطلح جديد أطلقه المؤلف علىٰ اللعبة الافتراضية التي اخترعها والمتشابهة إلىٰ حد كبير مع الشطرنج (المترجم)

(٢) تقنيا، إنها «كش ملك» "shmeckmate" لكن فقط لعلمك كذلك بأننا سنظل عليها بسيطة.

لعبة غير مثيرة للاهتمام. اللعبة بسيطة جدا. نحن نعلم ماذا سيحدث في لعبة شميس، ونعلم أنه ليس أيا من تلك الأشياء مثير للاهتمام.

دعنا نوسع نطاق المثال. لنفترض أنك قد عملت علىٰ اختراع ألعاب لوحية جديدة طوال اليوم. وأنك قد جربت ألف مجموعة مختلفة من القواعد، وجميعها مملة كلعبة شميس باستثناء اثنتان منها. الإن، يمكننا أن نتناقش حول أي تعريف للمصطلح «مثير للاهتمام» هو الصحيح، وعما إذا كانت هاتين اللعبتين مثيرتين للاهتمام حقا. لكن القصة المهمة هنا كيفية -مدىٰ- ندرة الألعاب «المثيرة للاهتمام» في مجموعة الألعاب المحتملة - وهو أمر يمكن ان نتوصل اليه دون الحاجة الىٰ الاتفاق علىٰ تعريف دقيق لـ «مثير للاهتمام».

والسبب في ذلك هو أنه، من أجل استنتاج أن معظم الألعاب ليست مثيرة للاهتمام، فنحن لسنا بحاجة للبت في الحالات المبهمة. إننا نحتاج فقط أن نمتلك القدرة علىٰ أن نحدد بوضوح الألعاب غير المثيرة للاهتمام.

بالمثل، كل ما نحتاجه للتحقق من الضبط الدقيق هو أن نمتلك القدرة علىٰ أن نحدد أمثلة علىٰ أشياء غير حية بشكل واضح. لو وجد كون بمكونات بسيطة كافية فإننا نستطيع أن نستنتج بسلام أنه لا يمكن أن يتشكل شيء معقد كالحياة.

هناك أكوان افتراضية بقوانين وثوابت طبيعية لكنها ولو لم تكن قاتلة لكل ما فيها إلا أنها بالتأكيد خطوة هائلة في الاتجاه الخاطئ. علىٰ سبيل المثال، شرير خارق يضع يده علىٰ المؤشر الكوني[1] يمكنه أن يفتت جميع ذراتك إلىٰ كومة من الهيدروجين. وحيث أن يمكن تصور وجود بعض أشكال الحياة في مكان في كون كهذا، فدعوتك -نداءك- لأبطالك الخارقين من المحتمل أن يكون تصرفًا حكيما.

وكنتيجة، لا نحتاج أن نقلق كثيرًا بشأن تعريف دقيق للحياة. تعريف القاموس النموذجي -المثالي- سيفي بالغرض: الحياة تتميز بالقدرة علىٰ النمو، التكاثر، المقاومة الفعالة للاضطرابات الخارجية والتكاثر.

---

(١) وهذا أشبه بمؤشر المذياع الذي يمكنك من الانتقال بين محطة وأخرىٰ (المترجم)

سؤال ٢ :

ما هو المبدأ الإنساني Anthropic Principle؟

لقد ناقش العلماء والفلاسفة مدىٰ وآثار الضبط الكوني الدقيق من أجل الحياة لعدة قرون. لقد احتدمت النقاشات أيضا بين غير المتخصصين عاجلا أو آجلا، فإن شخصا ما سيذكر -سيشير- المبدأ الإنساني.

مناقشة المبدأ الإنساني اكتنفها -خيم عليها- بالعديد من تعاريفه المتناقضة. إننا نحتاج أن نوضح -نزيل- هذا اللبس، وسنفعل كذلك بتتبع -اقتفاء- أثر منشأ الالتباس.

عالم الكونيات أسترالي المولد براندن كارتر Brandon Carter قدم المصطلح في حديثه المشهور الإن في وارسو Warsaw عام ١٩٧٣. هنا هو المبدأ الإنساني الضعيف لكارتر:

يجب أن نكون مستعدين للأخذ بعين الاعتبار -لنأخذ بالحسبان- حقيقة أن موقعنا في الكون هو مميز بالضرورة لدرجة أن يكون ملائما -منسجما- مع وجودنا كمراقبين -ملاحظين-. تقول إحدىٰ نسخ التاريخ العلمي بأن الإدراك التدريجي للجنس البشري بأنهم ليسوا مميزين، متفردين، المركز الأهم في الكون. افترضت أساطير القرون الوسطىٰ بغرور بأن الكون يدور من حولنا فقط ليتم الإحاطة به من قبل كوبرنيكوس وجاليليو. نحن لسنا في مركز النظام الشمسي فضلا عن أن نكون في مركز الكون. لمثل هذه الرؤية، يبدو مبدأ كارتر باليا -قد عفا عليه الزمن-.

إلا أن، التاريخ يخبر بقصة مختلفة. لم يكن مجتمعات العصور الوسطىٰ هم من وضعوا الأرض في مركز الكون وإنما الإغريق. خصوصا، علم الكونيات الأرسطي Aristotle's cosmology -نسبة لأرسطو- من القرن الرابع قبل الميلاد المؤلف من ٥٠ كرة شفافة تدور حول الأرض. النجوم والكواكب صنعت من مواد مختلفة -الاثير السماوي- لأنها مثالية وغير قابلة للفساد. علىٰ النقيض، الأرض مصنوعة، تماما، من التراب. وحيث أنه من الطبيعة الذاتية للأثير الحفاظ

علىٰ حركة دائرية كاملة، فوزن الأرض وعدم كمالها يتسبب في غرقها -يعني انجذاب الأجسام إليها-. فكوكبنا الأم ليس في المركز؛ إنه في القاع! إنه المكان الذي تتجمع فيه فضلات الكون.

كان لأرسطو أسبابه لنظام كهذا، وهي لا تتضمن غرورا بشريا[١] عوضا عن ذلك، فهي تجريبية. عندما تقفز، تهبط في نفس المكان. فأنت لا تهبط علىٰ بعد ٥٠٠ متر تجاه الغرب، وهو ما أثبت للقدماء أن السماء هي التي تتحرك وليست الأرض. (فقط عندما يفهم المرء نسبية الحركة لجاليليو يمكنه مقاومة (الرد علىٰ) تلك الحجة). لكن حركة الأرض ليست دائمة. فلو توقف حصانك عن جر -سحب- عربته، فسرعان ما سيأتي للراحة -سيستقر-. فلو قمت بإسقاط أي شيء مصنوع من مادة أرضية، فسيسقط عائدا إلىٰ مكانه الطبيعي في مخطط الأشياء، ويستقر.

لذلك فالسماوات بحركتها الدائرية الدائمة والمثالية يجب أن تكون مصنوعة من مادة مختلفة وتستمر في حركتها من خلال «المحركٰ الأول Primum Mobile»[٢] أبعد وأعظم المجالات.

---

(١) سيكون من مصلحتنا تذكر ذلك، حيث تضع الكتب المقدسة العبرية البشرية بالقرب من قمة الخلق، القصص البابلية واليونانية لم تفعل. يحكي **Enuma Elish** البابلي عن معركة بدائية بين وحوش الفوضىٰ ماردوك **Marduk** وتايموت **Taimut**، قادة الفصائل الإلهية المتنافسة. ينتصر ماردوك ويمزق جثة تياموت إلىٰ نصفين والذي يتشكل منه الأرض والسماوات. كينجو **Kingu**، الإله المتمرد الذي حرض علىٰ الحرب، تم تدميره لذلك من دمائه يستطيع ماردوك أن يخلق: وحشي، «رجل» يجب أن يكون اسمه.بلا ريب، رجل -متوحش سأخلق. هو يجب أن يكون في خدمة الإلهة الذين قد يكونون في راحة!تنتهي الملحمة بقاعة احتفال الإلهة وهم يهتفون بالأسماء الملكية الخمسين لماردوك. مهما يكن مصدر إلهام القصة بأن الجنس البشري موجودون ليصبحوا عبيدًا للوحوش الفوضوية المسيطرة، فهي ليست مهمة للإنسان نفسه. تمتلك الأسطورة اليونانية رؤية منبطحة بالمثل لمكان الجنس البشري في المخطط العظيم للأشياء..

(٢) في علم الفلك الكلاسيكي وعصور الوسطىٰ والنهضة فإن **Primum Mobile** هو مجال التحرك الأبعد في نموذج مركزية الأرض في الكون (انظر: T. H. Greer, A Brief History of the Western World (2004) p. 419) (المترجم)

فمن غير المعقول، إذا، للقدماء والعصور الوسطىٰ أن ينضموا إلىٰ كوبرنيكوس في نقل الأرض خارج -مجال- السماوات. هذا ليس بسبب أنه يزيلنا من من عرشنا عند المركز. علىٰ النقيض تماما - إنه في شراكة عالية ونبيلة جدا. فنحن لا ننتمي إلىٰ هناك بين المجالات المثالية. فالمادة الأرضية لا تتحرك كالمادة السماوية. وكيف يمكننا أن نضع الشمس -المصدر المثالي للضوء والحياة- في قاع الكون؟ ما الذي قامت به لتستحق مقعدًا غير مشرف كهذا؟

الفيزياء الجديدة، وعلىٰ وجه التحديد، الفهم الجديد للمادة والحركة، مطلوب. لُمحت - الثورة بواسطة جاليليو وأكملها نيوتن. كل الأشياء تبقىٰ ثابتة علىٰ حركتها حتىٰ تؤثر عليها قوة. فالكواكب تتحرك في مدارات دائرية بفعل قوة جاذبية الشمس؛ خلاف ذلك، فستتحرك دون عائق بشكلٍ كبير خلال فضاء خالي فعليا. الأشياء الأرضية تستقر بسبب قوة أخرىٰ - قوىٰ الاحتكاك، مقاومة الهواء، والتماس. بهذه الطريقة، يمكننا شرح -تفسير- الحركة الأرضية والحركة الكوكبية فيما يخص -من زاوية- المباديء ذاتها والمادة ذاتها.

يظهر علم الفلك الحديث أننا حتىٰ لسنا في المركز من مجرتنا. (ربما كان هذا لحسن الحظ- المركز من مجرتنا يستضيف ثقبا أسودا أثقل مليون مرة من الشمس.) نحن الكوكب الثالث حول نجم نموذجي في مجرة متوسطة الحجم في كون مع كواكب، نجوم ومجرات في كل اتجاه. نحن لسنا فقط في المركز من الكون، ليس هناك مركزًا.

إذا ما الذي يعنيه كارتر عندما يقول بأن موقعنا يجب أن يكون مميزا؟

اعتبر مثالا بسيطا. عادة ما نأخذ الهواء كأمر مسلم به، لكن كثافة الهواء الذي تتنفسه هي $١٠^{٢٧}$ ضعف متوسط كثافة المادة في الكون. وجود أماكن في الكون ذات كثافة كبيرة علىٰ الأقل مثل الهواء -الموجود داخل- في حجرة هي نادرة كونيا. فلماذا تجد نفسك، كإنسان، في موقع نادر كهذا؟

الإجابة ليست صعبة لتكتشفها. البشر نتيجة ملايين السنين من التطور، بنيت من عدد ضخم من الجزيئات والتركيبات المعقدة. هذه العملية تتطلب بيئة غنية بمواد كثيفة وغنية بما يكفي من أجل تفاعلات كيميائية فعالة.

لا ينبغي للبشر أن يندهشوا بأن يجدوا أنفسهم في بيئة كهذه، حتىٰ لو كانت نادرة.

في الحقيقة، أي كائنات ذكية أخرىٰ في كوننا تتسائل عن -تبحث في- وجودها ربما ستجد أنفسها في بيئات مميزة كهذه.

نستطيع أن نأخذ تلك الحجة إلىٰ مدىٰ أبعد. عندما يذكر كارتر الموقع، فهو لا يعني فقط في المكان وإنما أيضا في الزمان. إننا نتوقع أن تكون الحياة أكثر استعدادا لتنشأ ليس فقط أماكن محددة ولكن في أزمنة محددة كذلك.

يتكون الكون المبكر في معظمه من الهيدروجين والهيليوم، مع عدم وجود تقريبا أي من العناصر لتكوين الكواكب والأشجار والناس. يحتاج الكون لتكوين أجيال عديدة من النجوم ليقوم بإنتاج كميات كبيرة من الكربون، الأكسجين والعناصر الأخرىٰ. ككائن ذكي، فلا ينبغي عليك أن تتفاجأ بأن تجد نفسك في كون عمره تقريبا ١٤ مليون سنة، فقد كان هذا وقتا كافيا لخلق المادة المطلوبة لتكوينك. لتوجد في وقت مميز.

يقول المبدأ الإنساني الضعيف **WAP** أن: الكون ليس تجربتك لتقيم كما تشاء وتلاحظ وقت فراغك. فأنت لست دكتور فرانكنشتاين **Frankenstein**. فأنت الوحش. لقد استيقظت وسط أكواب، أقطاب، ومؤشرات الماكينة التي خلقتك. ما نلحظه ربما يتأثر بحقيقة أننا نلاحظ بشكل مطلق.

أخذ كارتر هذا الخط من التفكيره خطوة واحدة أبعد، تتضمن المبدأ الإنساني القوي (**Strong Anthropic Principle (SAP)**). إنه يقول:

الكون (وبالتالي معاملاته الأساسية التي يقوم عليها) يجب أن يكون بمثابة اعتراف لخلق ملاحظين خلاله في مرحلة ما.

ببساطة، يسأل المبدأ الإنساني الضعيف (م إ ض **WAP**): لماذا هنا؟ لماذا الإن؟ يسأل المبدأ الإنساني القوي (م إ ق **SAP**): لماذا هذه القوانين والثوابت الفيزيائية؟ م إ ض يكون حول موضعنا -موقعنا- في المكان والزمكان. م إ ق يكون حول خواص الكون، كقيم ثوابت الطبيعة.

المبدأ الإنساني القوي لكارتر (ساب Carter's SAP) أسيء فهمه ببساطة؛ مصدر معظم اللبس هو الكلمة يجب. المعنىٰ ليس منطقيا أو ميتافيزيقي -غيبيا-، إنه يكون، كونا ما بدون ملاحظين -مراقبين- هو أمر مستحيل. إنه ليس سببيا، كما لو أننا صنعنا الكون. بدلا من ذلك، فهذا يجب أن يكون لاحقا، كما في «هناك صقيع علىٰ الأرض، لذلك يجب أن يكون الخارج باردا». وبما أننا موجودون، فالكون (وقوانينه) يجب أن يسمح بملاحظين.

المبدأين القوي والضعيف لكارتر حول ماذا يتبع من وجودنا كمراقبين، وكذلك لا نستطيع تفسير لماذا يوجد مراقبون أصلًا. هذه المباديء هي مجرد إطناب -حشو-، لا تستطيع تفسير أي شيء. رغم ذلك، فإطنابات مماثلة تعلب دورا في تفسيرات علمية للعالم. التليسكوب يستطيع فقط رؤية الأشياء التي تلمع كفاية ليمكن رؤيتها. في استطلاعات الرأي لا يتم أخذ رأي إلا من أرد أن يشارك رأيه   أفضل الكائنات الحية قدرة علىٰ البقاء تزداد احتمالات بقائها علىٰ قيد الحياة. هذه ليست التفسير الكلي لبعض الظواهر - الانتخاب الطبيعي، علىٰ سبيل المثال، ينطوي علىٰ أكثر من البقاء علىٰ قيد الحياة من الناجين. لكنها يمكن أن تكون هامة.

هنا حيث يبدأ الالتباس: لم يتبع الكتاب المتأخرين كارتر في مبدأه. في ١٩٨٦، اثنين من الفيزيائيين المعروفين جيدا، جون بارو John Barrow وفرانك تيبلر Frank Tipler نشروا كتابًا مؤثرًا بعنوان المبدأ الإنساني الكوني The Anthropic Cosmological Principle. فنقبا -فتشا- في الأسئلة حول وجود حياة ذكية وآثارها المترتبة علىٰ قوانين الطبيعة. إنه كتاب رائع، لكنه يعيد تعريف المبدأين الإنساني القوي والضعيف بمهارة أقل، مسببا تشوشا -التباسا- كبيرا. فطبقا لبارو وتيبلر (ص١٦)، ينص المبدأ الإنساني القوي علىٰ:

إن القيم الملاحظة لجميع الكميات الفيزيائية والكونية ليست محتملة بقدر متساو ولكنها تأخذ -تحمل- قيما مقيدة بشرط وجود مواقع حيث يمكن لحياة

مبنية علىٰ الكربون أن تتطور وشرط أن يكون الكون قديما بما يكفي من أجلها لتقوم بذلك بالفعل.

هذا هو، في الواقع، مزيج من مبأدي كارتر القوي والضعيف. إنه يشير إلىٰ «جميع الكميات الفيزيائية والكونية»، متضمنا المكان والزمان (مبدأ كارتر الضعيف) وثوابت الطبيعة (مبدأ كارتر القوي). إنه، وهذا رأينا، معقول أن نجمع بين المبدأين، لكن النتيجة يجب أن تدعىٰ ببساطة المبدأ الإنساني.

كيف، إذن، عرف باروت وتبلر المبدأ الإنساني القوي؟

يجب أن يمتلك الكون تلك الخصائص التي تسمح للحياة بأن تتطور خلاله عند مرحلة ما في تاريخه (1986, p. 21).

هنا حيث تصبح الأمور مثيرة للاهتمام. إنها توفر عديد من التفسيرات البديلة لهذه الحالة، بما في ذلك:

١- يوجد كون واحد محتمل «مصمم» بهدف إنشاء مراقبين والحفاظ عليهم.

٢- المراقبين أمر ضروري لجلب الكون إلىٰ الوجود.

٣- وجود طاقم من الأكوان الأخرىٰ المختلفة أمر ضروري من أجل وجود كوننا.

نحن بعيدون عن مبدأ كارتر القوي. الكلمة «يجب» في المبدأ القوي لبارو وتبلر اتخذت ببساطة لتقدم أن الحياة الذكية بطريقة ما مركزية بالنسبة لكينونة الكون، حتىٰ توحي بأننا صنعنا ذلك.

وباستخدام هذه الصيغة من إعادة التعريف، يصبح المبدأ الإنساني القوي أشبه بالغيبيات -شبه غيبي-، مما يجعل الفلاسفة عميقي التفكير والعلماء مرتابين.

إن إعادة التعريف غير حكيمة. م إ ض وم إ ق يفترض أن يكونا نسخا قوية وضعيفة لنفس نوع المبدأ. مبدأي كارتر هما: الفكرة نفسها طبقت بضيق -بصورة محدودة- علىٰ المكان والزمان (م إ ق) وبصورة أوسع علىٰ ثوابت الطبيعة (م إ ق).

رغم ذلك، فإن مجموعة أفكار بارو وتبلر المتنافرة -من التعميم إلىٰ التخمين- مسيرة تحت شعار -راية- نفس «الإنساني». قد تميل هذه لتمنحهم جميعا جوا مثيرا للجدل بشكل غير مستحق. حتىٰ مبدأ كارتر الضعيف الواضح تماما (م إ ض) نُظر إليه بريبة بسبب نفس الاسم الخادع.

سندع المبدأ الإنساني حاليا؛ سيطفو علىٰ السطح هنا وهناك خلال الكتاب. إذا لم تستطع الانتظار، وتمتلك بين يديك متسع من الوقت، اكتب «المبدأ الإنساني anthropic principle» في أي محرك بحثي مفضل لديك سيزودك بساعات من التسلية، علىٰ الرغم من كونه أقل استنارة -تنويرا-.

سؤال ٣:

ما هو العلم؟

سنتحرك بخفة علىٰ هوامش وأطرف العلم إلا أننا سنتنبه إذا ما تجولنا ابعد مما يجب، إذا ما شردنا في مجاهل التخمينات والغيبيات أو أبعد من ذلك.

كوننا العلماء، فنظرتنا للمغامرة العلمية ستكون من الداخل. نحن أكثر دراية بمجالنا وزملائنا ومشاريعنا، ويجب العودة خطوة من أجل التعميم بشأن العلم والعلماء والطريقة العلمية. بالأخص، تجاوز عصرنا وثقافتنا لرسم صورة موثوقة لتاريخ العلم ليس أمر تافها. بشكل حتمي، حسابنا للطريقة العلمية ستكون من خلال ما يجري في المبنىٰ H90 من جامعة سيدني.

في الواقع، هذه «الطريقة العلمية» هي جزء من أسطورة. إنها تبدو كأن العلماء لديهم كتاب صغير بقواعد صارمة حول طرح الأسئلة، تعريف الفرضيات، وإجراء التجارب لتحديد ما إذا رفضت أفكارك بواسطة الحقائق الفجة للطبيعة، أو نجت لتعرضها مرة أخرىٰ. في الحقيقة، عملية العلم تكتسب أثناء الوظيفة، وهو ما يعني أنها عملية فوضوية نوعا ما في الواقع.

سيكون تركيزنا علىٰ مجال الفيزياء، كون هذا الأكثر ألفة بالنسبة لنا والأكثر صلة بالضبط الدقيق. عادة ما ينقسم القيزيائيون إلىٰ معسكرين: النظريون الذين

يحاولون بناء القواعد الرياضية لأعمال الكون، والتجريبيون الذين يحققون في كيف يتصرف الكون فعليا. في الواقع، فالتمييز بين (العالم) النظري -المنظر- و(العالم) التجريبي -المجرب- ليس قاطعًا بشكل مثالي، في ظل وجود العديد من الناس لديهم قدم في كلا المعسكرين، ولكننا سنلتزم التمييز في الوقت الراهن. دعنا نبدأ بالنظر في دور المجربين.

المجرِّبون (العلماء التجريبيون)

حسنا، شخصا ما فعليا ألقىٰ نظرة للكون.

يأخذ المجربون أشكالا وأحجاما مختلفة. ففي علم الفلك، علىٰ سبيل المثال، نحن نموذج للمراقبين السلبيين للكون الذي نراه حولنا. لا نستطيع اختبار أفكارنا المتعلقة بالنجوم من خلال صنع نجمة في المعمل.

بنموذجية أكثر، نتصور مجرب في المختبر، تحيط به الأدوات والمواد الكيميائية والعقول في الأحواض. هؤلاء التجريبيون متجولون في الطبيعة، يرسلون إلكترونات بطريقة أو بأخرىٰ، أو يضعون بللورات في حقول مغناطيسية فائقة القوة فقط لرؤية ما يحدث. في العلوم الفيزيائية، رغم ذلك، فليس كافيا لتصف ببساطة ملاحظاتك في كلمات (علىٰ الرغم من كون هذا مهما). نحن بحاجة لنحصل علىٰ كمية - نحتاج أرقاما. هذا التسجيل لخصائص الأشياء، خصوصا كيف تتغير بتعديل التجربة، هو جزء حيوي في العلم.

اعتبر سؤالًا بسيطا: ما هو لون السماء؟ هذه كلمات تطبع علىٰ طائرة تحلق بين سيدني Sydney وميلبورن Melbourne، وبالخارج هناك منظر جميل لسماء الشتاء فوق استراليا.

يمكن وصف السماء كونها زرقاء فاتحة اللون (تجاهل السحب المتناثرة بالأسفل)، لكنها نوعا ما أظلم -أشد ظلمة- فوق، وتظل تضيء أكثر تجاه الأفق.

وصف رائع، لكن كيف لهذه البقعة من السماء أن تقارن مع بقعة أخرىٰ في مكان آخر في الكوكب؟ لمقارنة ذات معنىٰ، فنحن نحتاج إلىٰ قياس الخواص الفيزيائية للسماء عند كل موقع. لا يمكننا فقط استبدال الانطباعات؛ إننا بحاجة لأرقام.

الضوء شكل من أشكال الطاقة، ونحن نعلم بأنه يأتي في نطاق الأطوال الموجية. لذلك يمكننا بناء جهاز لقياس كمية الطاقة المودعة في عيني من خلال الضوء المستلم من السماء. يمكننا كذلك قياس كمية الطاقة المودعة كما يمكننا تغيير الطول الموجي للضوء. هذه الأجهزة موجودة وتعرف بالاسبكتروجرافات مخططات الطيف spectrographs[١]، حيث تحلل الضوء الذي تستلمه إلىٰ طيف من الألوان. يعلم جميع مشجعي -محبي- البينك فلويد **Pink Floyd** أن منشورا زجاجيا يمكنه تشتيت شعاع من الضوء الأبيض إلىٰ ألوان قوس قزح.

نستطيع أن نقيس كيف تبدو السماء بأطوال موجية مختلفة، وأيضا ونحن ننظر أبعد في الأفق. خلال هذه القياسات، يمكننا مقارنة السماء عند مواقع مختلفة فوق الأرض.

لسوء الحظ، العالم الحقيقي فوضوي. المعدات والكواشف ليست مثالية، وأي معلومات نقوم بتسجيلها ستأتي مرتبطة بعدم اليقين، شيء غالبا ما يشار إليه كخطأ، رغم ذلك فهو لا يعني أن هذا الشيء خطأ. الكلمة الأفضل هي ضوضاء[٢]

علىٰ سبيل المثال، افترض أننا نترك -ندع- الكاشف الخاص بنا خارجا في -معرضا لـ ضوء الشمس ويجمع ٣.٧٨٤ ١٠ جولا من الطاقة بنسبة عدم تأكد

---

(١) الاسبكتروغراف هو جهاز يعمل علىٰ تحليل الطيف حيث يقوم بتحليل الضوء إلىٰ الأطوال الموجية والترددات الموافقة، ويسجل الإشارات بواسطة كاميرا؛ ويستعمل لتفسير ظاهرة الشفق القطبي ودراسة المتفجرات الشمسية وبقعها (المترجم)

(٢) سيكون مشروعنا القادم كتابة كتاب بشأن الضوضاء وعدم اليقين في العلم. في الجوهر، هذه هي الأشياء الأكثر أهمية في العلم، لكنها مُساءة الفهم من قبل هؤلاء الذين خارج المجال. نحن نحلم باليوم عندما تعتاد وسائل الإعلام علىٰ تقديم تقرير عن عدم اليقين في القياس.

١٠ جول. يمكننا أن نقول بأن الكمية الفعلية من الطاقة الساقطة علىٰ الكاشف هي من المرجح أن تكون في مدىٰ ٧٨٤.٠ ١٠ و٧٨٤.٦ ١٠، ومرجح جدا في المدىٰ ٧٨٤.٠ ١٠ و٧٨٤.٦ ١٠، وأنه غير مرجح بشدة أن يكون وصل فقط ١٠٠ جول أو ١٠٠٠٠٠ جول.

لقد توجب علىٰ العلماء التعامل مع عدم التأكدات -الشكوك- في قياساتهم لفترة طويلة، ولديهم مناهج رياضية متينة في التعامل معها. حيث هذه الطرق، معروفة بإحصاءات بايزين، معروفة بكثرة. ولكن لا يتم تطبيقها دائما، لماذا يعمل العلماء علىٰ هذا النحو إذًا؟ هذا موضوع لكتاب آخر!.

يقوم المجربون بأكثر من مجرد النظر فهم يقيسون ويحددون خصائص العالم المحيط بنا، لكن هذه الفهرسة ماهي إلا وجه واحد من أوجه العلم.

النظريون (العلماء النظريون)

ماذا نفعل مع جبل من القياسات؟ يمكننا البحث عن أنماط واتجاهات، علىٰ أمل البحث وراء -خلف- البيانات ورؤية الأعمال الداخلية للكون. في الفيزياء، النظريون يقصدون القوانين الرياضية التي بها تعمل آلة -ماكينة- الطبيعة.

بينما حظيت الرياضيات بالتقدير لفترة طويلة نظرا لجمالها وفائدتها، فدورها الهام في الفيزياء هو اكتشاف حديث نسبيا.

الطلاب في جامعات العصور الوسطىٰ كانوا يدرسون أولا التفكير النقدي عبر التريفيوم[1] trivium: النحو، المنطق والبلاغة. ثم تم تعليمهم الكوادريفيوم quadrivium: الحساب، الهندسة، الموسيقىٰ وعلم الفلك. قد تبدو الموسيقىٰ في غير مكانها -محلها-، لكن الطلاب لم يتعلموا أدائها أو تركيبتها -تكوينها-، وإنما النظرية الرياضية لنغمات التوافق والنسب.

بالمثل، كان ينظر إلىٰ علم الفلم من خلال تقاليد أرسطو ك «علم وسيط»، يحيا بين الرياضيات التجريدية والفيزياء التجريبية (لكن بصورة عمومية وليست كمية). يمكننا وضع نظرية بالمصطلحات الرياضية حول هندسة السماوات، لكن يبدو غير مقنع إمكانية وجود تماثل مثل هذا هنا.

تصور رينيه ديكارت Rene Descartes، في أوائل القرن السابع عشر، بأعلىٰ قدر من الوضوح ودافع عن فكرة أن كل الفيزياء يمكن أن تكون رياضياتية كعلم

(١) منهج تمهيدي في جامعات العصور الوسطىٰ يتضمن دراسة قواعد اللغة والبلاغة والمنطق (المترجم)

الفلك. لقد كان لدىٰ ديكارت رؤية عن «توحيد كل العلوم الكمية - العلوم التي يمكن تحديدها عن طريق القياس -يراجع التعريف جيدا المترجم- تحت الرياضيات»[١]

كانت المهمة الأولىٰ لتوحيد الميكانيكا السماوية والميكانيكا الأرضية وعلم الفلك والفيزياء. كانت محاولات ديكارت الخاصة غير ناجحة، جزئيا لأنه كان يعتقد أن الفراغ مستحيل فيزيائيا. بناء علىٰ العمل الهام لعدة علماء عظام، بما فيهم كيبلر وجاليليو، كانت عبقرية نيوتن الشاهقة هي أول من حقق رؤية ديكارت. والفيزيائيون النظريون يقتفون آثاره.

الأداة الأولية للعالم النظري هي نموذج، لم تُبنىٰ علىٰ كتل -مجموعة- ليجو آر Lego وإنما بنيت علىٰ الرياضيات. بالعودة إلىٰ زرقة السماء، فنموذجنا يحتاج إلىٰ بعض المكونات. نحتاج أن نعرف عن مصدر الضوء الذي نتلقاه من السماء -ضوء الشمس- و، بشكل خاص، توزيعه للطاقة كجزء من عمل الضوء الموجي. إننا بحاجة لخواص الغلاف الجوي: غازاته المتنوعة بتركيباتها الجزيئية، وكيف يتغير الغلاف الجوي مع الارتفاع، كونه دافئا وكثيفا بالقرب من الأرض، وأكثر برودة وندرة في اتجاه الأعلىٰ.

سيحتاج النموذج كذلك إلىٰ تأمل كيف يتحرك الضوء خلال بحر الجزيئات التي تصنع -تكون- الغلاف الجوي. هل يبحر الضوء أم يتبعثر -يتشتت- خلال الجزيئات؟ وإذا كان يتشتت، ما كيفية هذا التغير مع الطول الموجي للضوء.

خلال كل المراحل، سينبه النظري إلىٰ كل ما هو معروف، مثل التركيب الجزيئي للغلاف الجوي والضغط والحرارة عند ارتفاعات متنوعة. ربما يتطلبون حسابات جديدة، مثل استنتاج كيف يتبعثر الضوء بشكل مختلف من النيتروجين والأكسجين.

---

(1) Williams, 1978 (p. 16).

يتكون النموذج النظري من أربع قطع، حيث يتم تمثيل المادة الفزيائية بكائن رياضياتي والذي هو شيء مثل مجموعة مركبة من الأرقام أو دالة أو مشعب والذي يمثل كل ما يمكن للنموذج أن يمثله للنظام فعلىٰ سبيل المثال، يتم تمثيل تجمع الجسيمات الكلاسيكية بالموضع والسرعة لكل جسيم في المكان والزمان. فبالنسبة للغاز في غرفة، يمكنه أن يكون الحرارة والضغط والكثافة عند كل نقطة. حيث تتاح تشكيلة دقيقة ومتطورة من المواد الرياضياتية.

القطعة الثانية هي الشكل الرياضياتي للمعادلة. هذه ترمز الىٰ كيفية تتحرك الأشياء وتتصرف وتتفاعل. خلال معادلات مختلفة، إن جسيماتنا الكلاسيكية ربما تتجاذب أو تتنافر، حقولنا ربما تتذبذب، أو ربما الأشياء الكمية تفعل أيا ما تفعله الأشياء الكمية. المعادلات الفيزيائية هي حركية -ديناميكية- بامتياز - إنها تخبرنا كيف يتغير النظام خلال الزمن.

الجزء الثالث هو مجموعة من الثوابت: أرقام قديمة عادية. ربما تخبرنا مدىٰ قوة دفع جسيمين بعضهما البعض، أو كيف يكون ثقلهما. هذه الثوابت -بالتعريف- لا يمكن حسابها بالمعادلة. إنها يجب أن تُقاس.

الجزء الرابع هو السيناريو حيث تطبق المعادلة. الرياضيون يسمون هذه بـ «الشروط الأولية»[1] - المعادلة تخبرنا كيف ستتفاعل الأشياء -المواد- في موقف محدد (تتحرك بهذا الاتجاه، ترتد بذلك الاتجاه، تنحرف أكثر هنا)، لذا فنحن بحاجة لمعلومات أكثر لنحدد كيفية تصرفها بالفعل. علىٰ سبيل المثال، طبقا لنظرية نيوتن للجاذبية، يمكننا أن نتقصىٰ النظام الشمسي، تجمع من النجوم أو حتىٰ المجرة كاملة. طبقا ل نظرية فيزيائية تصف كيف تتدفق الإلكترونات خلال سلك، يمكننا تقصي كل أنواع الأجهزة الكهربية.

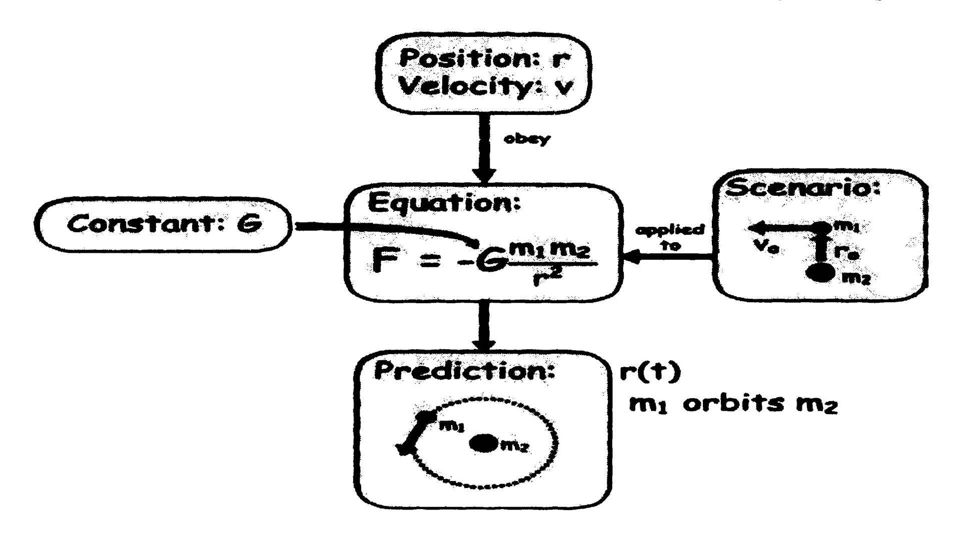
هنا أربعة قطع: المادة، الديناميكيات -الحركات- (مشفرة في معادلة)، الثوابت والسيناريو. يوضح شكل ٤ كيف تأتي قطع النموذج النظري معا لتتنبأ بالحركة المدارية -بمدار- جسيم صغير (m1) حول جسيم أكبر (m2) Az AZ.

---

(١) أو، بتعميم أكثر، الشروط الحدودية

الأزمـة

الإن نأتي للأزمة: قارن تنبؤاتك النظرية مع الملاحظة. هذا هو جوهر العلم. حقيقة، بالمعنىٰ الدقيق للكلمة، هذا هو العلم! نماذجنا مزيج من نظريات مختبرة جيدا، فروض معقولة وتخمينات؛ كما لاحظ ريتشارد فاينمان Richard Feynman «أن التخمين لا ينافي العملية العلمية».[1] يحدث العلم عندما نسأل الكون عما إذا كان تخميننا صوابا. وإلا، فإن ما يفعله المجرب يزيد قليلا عن جمع الطوابع، والنظري فقط يلعب بالأرقام.



(1) Feynman 1965), p.(165

شكل ٤ : نحن نستخدم مثال تطبيق نظرية نيوتن للجاذبية لنتنبأ بالمدار الكوكبي. أربعة قطع يجب أن تتلاقىٰ. الشيء -الكائن- الرياضياتي يمثل حالة النظام، في هذه الحالة موضع وسرعة الجسيمات. تتعلق المعادلة بحالة النظام إلىٰ كيفية تغيرها مع الزمن. تتطلب المعادلة ثابتا، G، والذي يحكم شدة الجاذبية. ونحن نطبق هذه المعادلة العامة علىٰ نظام -سيناريو- خاص، في تلك الحالة كتلتين تترتبان وتتحركان كما هو مبين. النتيجة هي تنبؤ: الكوكب (m1) سيدور حول النجم (m2)

يستخدم العلماء نظرية الاحتمالات للتأكد من جودة تطابق التنبؤ من الكون الملاحظ. ، وما إذا كانت المعلومات تفضل نظرية ما علىٰ أخرىٰ.

بهذه الطريقىٰ، يجد العلم نظريات رياضية متزايدة الدقة والتي تتنبأ بما نلحظه في العالم الطبيعي.

العودة إلى الضبط الدقيق

إذا، أين ينسجم الضبط الدقيق مع العلم؟

قلنا بأن العلم يكون عن مقارنة نظريتك بالبيانات. ورغم ذلك، هنالك ما هو أكثر منه بقليل. إننا نفضل النظريات التي لا تكون، مخصصة، مزورة-مجهزة، أو ذات مرونة كبيرة من أجل مصلحتهم الخاصة فحسب

بشكل عام، إن كان لديك عشر نقاط من البيانات، ومعادلة ذات عشر معاملات حرة ١٢، إذا فنموذجك لا يمكن أن يفشل - إنه علىٰ الأرجح سيطابق البيانات. هي عملية ناجحة بالتأكيد لكن ليست مثيرة للدهشة، إذ هي تشبه ان يخمن لاعب الخفة البطاقة الصحيحة التي اخترتها في محاولته الثالثة والأربعون. الأكثر إدهاشًا بالتأكيد هي النظريات التي تقوم بشرح كميات كبيرة من البيانات من خلال حركات عملية قليلة.

بالمثل المرتابة -المشبوهة- هي نظريات تحتاج إلىٰ قيم دقيقة جدا للمعاملات من أجل شرح البيانات. لفهم لماذا، تأمل هذه الحكاية الصغيرة.

خزنة بنك سرقت. الباب المصفح لم يفتح عنوة؛ اللصوص استخدموا شفرة الدخول. وصلت الشرطة إلىٰ مكان الحادث.

دريبين: ربما هم خمنوا الرمز -الشفرة-.

هوكين: مستحيل، فرانك. هناك تريليون تركيبة. النظام يظهر أنهم أدخلوا الرمز التشفيري بشكل صحيح من المحاولة الأولىٰ. مؤكد أنها احتماليه فلكية.

دريبين: لكنه ما زال محتملا، صحيح (أليس كذلك)؟

إليك إحدىٰ الطرق لترىٰ المشكلة مع نظرية دريبين Drebin: إنها مركبة من تريليونات من النظريات الفرعية. توجد النظرية الفرعية التي فيها يحاول اللصوص ويدخلون ٠٠٠٠-٠٠٠٠-٠٠٠٠. وهناك النظرية الفرعية التي فيها ٠٠٠٠-٠٠٠٠-٠٠٠١. وأخرىٰ مع ٠٠٠٠-٠٠٠٠-٠٠٠٢ وهكذا.

وفقًا لفرضية دريبن القائلة «إنهم خمنوا فقط»، كل من هذه النظريات الفرعية في جوهرها محتملة بشكل متساوي. وبعد، واحدة فقط تشرح الحقيقة بأنهم فتحوا الخزنة- الطريقة التي خلالها اخترقوا الرمز الصحيح. هذا يجعل نظرية دريبين مشبوهة. الجزء من النظرية القائل «أي رمز هم خمنوه» يحقق معايير الضبط الدقيق هذا ليس ذنب النظرية، لكنه يترك الباب مفتوحا لنظرية بديلة تشرح جيدا البيانات.

هذا ما يعنيه الفيزيائي بالضبط الدقيق - افتراض دقيق بشكل مريب. (الدقة أمر عظيم في بياناتنا، ولكن ليس في افتراضاتنا).

النظريات الفيزيائية، مثل النظام الفيزيائي، يمكن أن تكون هرمية -نبني نظريات كبيرة من نظريات صغيرة. أكثر القوانين الأساسية التي لدينا تصف لبنات البناء الأصغر من الفيزياء: إلكترونات، كواركات، فوتونات، ومجموعة أخرىٰ من الشخصيات سنقابلها في الفصل القادم. هذا هو المجال لفيزياء الجسيمات.

بالمثل، فالسيناريو الأكثر شمولية يمكن أن نرجوه لنموذج هو الكون بأكمله. هذا هو مجال علم الكونيات.

البحث عن الشروط الأولية القصوىٰ يرسلنا للوراء إلىٰ بداية الزمن، وأكثر من ذلك في الفصل الخامس. لذا، لو أن المعاملات الحرة (الثوابت والشروط الأولية) لفيزياء الجسيمات وعلم الكونيات دقيقة بشكل مريب، إذا فقد وجدنا ضبطا دقيقا عند المستوىٰ الأعمق لفهمنا للكون.

الضبط الكوني الدقيق من أجل الحياة، إذا، هو ضبط دقيق مطبق بشكل مخصوص علىٰ حقيقة أن هذا الكون يدعم أشكال الحياة.

الادعاء هو إن تغييرات صغيرة في المعاملات الحرة لقوانين الطبيعة كما نعرفهم له تداعيات مأساوية، لا يمكن تعويضها ومضرة علىٰ قدرة الكون ليدعم التعقيد اللازم لأشكال الحياة الفيزيائية -المادية-.

الثوابت الأساسية للطبيعة

دعنا نأخذ نظرة أقرب لبعض من هذه المعاملات الحرة.

الإلكترون هو أحد الجسيمات الأولية في الكون. دوران الإلكترون حول أنوية الذرات يقضي -يملي- العمليات الكيميائية. بالمعدات التجريبية الملائمة، يمكننا قياس كتلة الإلكترون بمفرده: ١٠٩.٩ ٣٨٢ ١٥ × ١٠ -٣١ kg (و، بمعداتنا الأكثر دقة، فنحن نعلم أن هذه تحمل هامش عدم يقين من ٠٠٠ ٤٥ × ١٠ -٣١ kg). إذا قمت بقياس الكتلة لأي إلكترون في الكون، فستحصل علىٰ نفس الإجابة! عندما نقيس كتلة مادة بالكيلوجرام، فإننا نقارنه ضمنيا بكتلة من سبيكة البلاتين - إيريديوم في ظروف موحدة في مختبرات المكتب الدولي للأوزان والمقاييس في المناطق الخارجية لباريس. ليس هناك شيئا مميزا بشأن هذه الكتلة، وكذلك لا شيء مميز بشأن الكيلوجرام. لا شيء يتغير إذا ما عبرنا عن الكتلة للإلكترون بالباوند، لونج طُن long tons [هو الطُن البريطاني ويكافي ٢٤٠ ٢ باوند المترجم]، الحبواب أو القيراط.

رغم ذلك، فكتلة الإلكترون نسبة إلىٰ جسيمات أخرىٰ في الكون هو أمر هام. كل رقم من حديقة الجسيمات الأساسية يتوافق مع كتلة، وبينما البعض صفرا، فالكثير مجرد أرقام عادية غير مفسرة.

هنا يمكننا ممارسة لعبة «ماذا لو؟» إذا غيرنا نسبة الكتل للجسيمات الأساسية، فما تأثير هذا علىٰ بدائي أصلع balding primate معقد، متعدد

الخلايا، جالس ويعيش علىٰ كوكب دائر حلو نجم؟ سنرىٰ في فصول لاحقة أن وجود الحياة يعتمد بشكل حاسم علىٰ كتل الجسيمات. الأكوان بنسب كتلة مختلفة غالبا ما تكون عقيمة.

مظهر أساسي آخر للكون هو القوة. اندفاعات وانجذابات -سحب- في الحياة اليومية تأتي من الاحتكاك، الرياح، العواصف، الينابيع، الجدران، الجاذبية، محركات، عضلات، وأكثر. علىٰ المستوىٰ المجهري -الميكروسكوبي-، أربع قوىٰ كافية لنمذجة جميع التفاعلات المعروفة بين الجسيمات الأولية. إنهم الجاذبية، الكهرومغناطيسية، وذات التسمية الغامضة القوىٰ النووية القوية والضعيفة.

انظر للجاذبية. وصف نيوتن الجاذبية خلال قانونه «التربيع العكسي» الشهير: «أي كتلتين يجذب كلا منهما الإخر، بقوة تتناقص -تتناسب عكسيا- مع مربع المسافة بينهما. نظرية آينشتاين العامة للنسبية.[1] هي تطوير -تحسين- أكثر دقة وأكثر صعوبة علىٰ نظرية نيوتن. في كلا النظريتين، تظهر كمية معروفة كثابت نيوتن للجاذبية، والتي عادة ما تعطىٰ بالرمز G وتمتلك قيمة ٦.٦٧ × ١٠$^{-١١}$ m^{٣} kg$^{-١}$ s$^{-٢}$ (شكل٥).

$$F = -G\frac{M_1 M_2}{r^2}$$

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2}Rg_{\alpha\beta} = 8\pi G T_{\alpha\beta}$$

شكل ٥: قوانين قوة الجاذبية. جاذبية نيوتن في الأعلىٰ ونسخة آينشتاين بالأسفل. لا ترهق نفسك بالتفاصيل؛ فقط لاحظ أن G يظهر في كلا المعادلتين، ولكن لا يمكن حسابه باستخدام تلك المعادلتين منفردتين.

---

(١) فزاعة صغيرة هنا، لكن بعض الناس يتحدثون بشأن نظرية آينشتاين للنسبية العامة، وليس نظريته العامة للنسبية. الأول غير صحيح، كما أن النظرية هي العامة وليست النسبية.

إذا كانت القيمة G مختلفة، ماذا كان سيحدث؟ نحتاج أن نكون حريصين قليلا هنا. افترض بأننا قد نقلناك إلىٰ كون آخر وطلبنا منك قياس G. فستحتاج أن تعاير أدواتك لتقيس أمتار، ثواني، كيلوجرامات. لكن انتظر كتلة البلاتينيوم-ايريديوم تعود لكوكبنا! لحسن الحظ، تغير G لن يؤثر علىٰ العناصر، لذا يمكننا (من ناحية المبدأ!) صنع ما نحتاج. مع بعض من السيزيوم ١٣٣، تستطيع معايرة ساعاتك لتقيس الثواني. قياس سرعة الضوء يعطي المتر: مسافة الضوء المقطوعة خلال ١/٢٩٩، ٧٩٢، ٤٥٨ من الثانية. يمكننا بعد ذلك تشييد صورة طبق الأصل من كتلة البلاتين-اريديوم لتعطينا الكيلوجرام. يمكنك إذا قياس G.

لا شيء في نظرية نيوتن أو آينشتاين يخبرنا بقيمة G. يجب أن نسأل الطبيعة، القياس من خلال التجربة[1]

في نظرية نيوتن، لو كان G أكبر بمقدار الضعف، فقوىٰ الجاذبية بين الكتل ستكون أقوىٰ بمقدار الضعف. في فهم آينشتاين العميق للجاذبية، فإن G يقيس مدىٰ قوة كتلة وطاقة تشوه هندسة الزمكان (المزيد في فصل٥). التغير في قيمة G يؤثر تماما علىٰ كل شيء في فيزياء الفلك، من التوسع الكوني وتشكل المجرات إلىٰ حجم واستقرار النجوم والكواكب.

بالمثل تظهر الثوابت في كل قوىٰ القوانين، حيث تسمىٰ ثوابت مزدوجة. الطريقة الوحيدة التي نمتلكه لمعرفة قيمة هذه الثوابت هو قياسها من الطبيعة.

في الفصول القليلة القادمة، سنلعب -سنمارس- لعبة «ماذا - لو» مع الجسيمات والقوىٰ، للكشف فقط عن كيفية تأثير خواصهم علىٰ مجريات الكون الصغيرة والكبيرة.

---

(١) إذا أرادت أن تقرأ حكاية للتفاني والمثابرة التجريبية، فعليك أن تجد عرضا لكيفية قيام عالم القرن الثامن عشر لورد هنري كافندش **Lord Henry Cavendish** بحبس نفسه بكتل ونهايات سلاسل ليعطي أول مقياس دقيق لـ G.

٢- أنا مجرد إنسان!

سوف نبدأ بسؤال يسير علىٰ ما يبدو، وهو: مما تتكون؟ إذا نظرت في يديك، يمكن أن ترىٰ الجلد والأظافر والشعر، بيد أن دونها ما هو أكثر من ذلك بكثير: حيث توجد عظام وأعضاء وسوائل ذات ألوان متنوعة. وتتكون هذه المكونات بدورها من أشياء أصغر: وهي الجزيئات والذرات، التي تتكون من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات.

وفي هذا الفصل، سوف نستكشف الكون من باطنه. حيث ننظر في كيفية تأثير خواص الأشياء الصغيرة في الأخرىٰ الكبيرة، مما يربط وحدات بناء الكون الأساسية بآلية الحياة. وسوف نحتاج إلىٰ أن نشق طريقنا عبر العظام والجلد والخلايا، مرورًا بطبقات من التعقيد نحو الجزيئات والذرات، ووصولًا إلىٰ الجسيمات الأساسية.

وعندما نصل إلىٰ الطبقات السفلىٰ، سوف نكتشف أن جميع الأبنية التي نراها تتكون من عدد صغير نسبيا من وحدات البناء. وبالتوازي مع ذلك، سنرىٰ كيف أن تغيير خواص تلك الوحدات الأساسية ينعكس علىٰ مستويات التعقيد المختلفة، مما يؤثر في مستويات كثير من الكون بما في ذلك قدرته علىٰ دعم الحياة.

ما الذي يجعل الشيء إنسانًا؟

لقد شغل هذا السؤال عقول البشر لآلاف السنين. وفي حين أن شيئًا من الغموض[1] لا يزال يكتنف المكون البشري من حيث الوعي، إلا أنه علىٰ مدار مئات الأعوام القليلة الماضية، كشف العلم وحدات بناء الجسم البشري بدرجة مذهلة من التفصيل.

ومن خلال المساعي العلمية، توصلنا إلىٰ أن جسم الإنسان عبارة عن كم هائل من الإشارات الكيميائية المتفاعلة؛ التي تشكل شبكة من العمليات المعقدة تسمح لنا بالأكل والنوم والحركة والحياة بشكل عام. فأنت عبارة عن حقيبة مواد كيميائية شديدة التنظيم ذات أبنية كثيرة علىٰ مستويات عديدة.

فمن خلال العين المجردة، وبمساعدة سكين حادٍّ، يمكننا أن نرىٰ أن الإنسان الطبيعي يتكون من عدد من المكونات الرئيسية والتي تشمل هيكلًا عظميا يعمل علىٰ حمل وزنه، وألياف عضلية وأوتار لإمداده القوة والحركة، بالإضافة إلىٰ مجموعة من الأعضاء المفردة لتحويل الطعام والهواء إلىٰ وقود. وهذا كله ملفوف بشكل ملائم في جلد شبه قابل للنفاذ يحفظه من الانسكاب علىٰ الأرض.

إن كل من درس كتاب بيولوجيا الإنسان (Human Biology 101) يعلم المعالجة المعقدة التي تمر بها لقمة الطعام بدءً من الفم، ومرورًا بالقناة الهضمية حيث يتم استخراج الطاقة، وانتهاءً بأنظمة الصرف التي تجعل الحياة الحديثة أمرًا

---

(١) وهذا تهوين شديد في نظر البعض!

يمكن احتماله. وكلما تعمقنا أكثر، نرىٰ أن تعقيد مكونات الإنسان في ازدياد مستمر. حيث يشبه الكبد في مظهره قطعة لحم يصعب وصفها، بيد أن داخله آلية معقدة لتنقية الدم. ويبدو الدم محض سائل أحمر، ولكنه عندما يتعرض للهواء، تخلق سلسلة من التفاعلات المعقدة تجلطًا دمويا لوقف النزيف. فهل يكشف التعمق مزيدًا من التعقيد دومًا؟

الإجابة اليسيرة والمذهلة هي: لا! فنحن في النهاية، كلما أمعنا النظر أكثر؛ تتحول البيولوجيا إلىٰ كيمياء والكيمياء إلىٰ فيزياء، حيث تفسح الأمور المعقدة مجالًا للأخرىٰ البسيطة، إلىٰ أن يمكن كتابة مكونات الإنسان -بأكثر العبارات صراحة- علىٰ ظهر منديل. ولنبدأ في فك هذا التعقيد من خلال التعمق فيما يظهر عندما نُمعِن النظر أكثر عن طريق الميكروسكوبات.

آلية الحياة

في كل عام، يصل ملايين الطلاب إلىٰ المرحلة الجامعية ليبدؤوا مرحلة تعليمية جديدة، وأحد جوانب هذه البداية هي زيارة مكتبة الجامعة، سواءً كان موقعها ماديا (في الحرم الجامعي) أو إلكترونيا. وتكمن فائدة المكتبة المادية في أنه يمكنك تصفح العديد من عناوين المواد التعليمية التي لا تدرسها وتتأمل غموض مادة «حساب التكاليف»، وتتساءل عن ماهية «بويا تشاينيز (Boya Chinese)[1]» وتفكر في الفائدة المرجوة من «البلاغة المعاصرة»؟

وفي الأعوام الماضية، استبدل النظامُ التعليمي للفيزياء مجوعةً كبيرة من الكتب المتخصصة التي تغطي موضوعات منفردة كالميكانيكا الكلاسيكية ونظرية الكوانتم والنسبية والكهرومغناطيسية، بمجلدات مفردة شاملة يبلغ وزنها العديد من الكيلوجرامات. فإذا انهارت الحضارة، تستطيع الصراصير أن تستعمل أحد تلك الكتب لتدشين الفيزياء الحديثة مجددًا من داخل الركام.

وإلىٰ جانب مجلدات الفيزياء الشاملة، وبنفس الوزن والحجم، ثمة كتب لا تغطي سوىٰ بيولوجيا خلية ما. فلماذا هي ضخمة جدًّا؟

تُعدُّ الخلايا «وحدات» الجسم الأساسية. ويحتوي الجسم علىٰ مجموعة من أنواع الخلايا المختلفة، لكل منها وظيفته الخاصة. وبعضها مشهور، مثل خلايا

(١) مادة تعليمية للغة الصينية بمساعدة اللغة الإنجليزية (المترجم).

الدم الحمراء التي تحمل الأكسجين إلىٰ العضلات وتعيد ثاني أكسيد الكربون إلىٰ الرئتين، أو السائل المنوي والبويضة اللَّذَين يشكلان أساس الحياة الجديدة.

وكما أن التعمق في باطن الإنسان كشف عن ثروة من الأبنية المختلفة -كالعظام والأعضاء والدم- التي تجعل وجود الإنسان ممكنًا، فإن كل خلية عبارة عن نموذج مصغر للنشاط ذاته. بيد أن أبطال هذا المسرح عبارة عن جزيئات معقدة -هي أبنية مكونة من ذرات مفردة- تِشارك في تفاعلات معقدة داخل الخلية.

كما أن تعقيد تلك التفاعلات مذهل. فإن كل خلية في جسدك -علىٰ سبيل المثال- لديها نظامها البريدي الخاص بها. وبالرغم من أن المسافة المقطوعة بين الطرفين أقل من عُشر ملليمتر، إلا أن الخلية لا تتحمل فقدان مسار الموارد التي جمعتها من محيطها. وبذلك، فعندما تكون الخلية بحاجة إلىٰ إرسال جزيء ما من إحدىٰ نهاياتها إلىٰ نهاية أخرىٰ، فإنه يطبَع عليه عنوان معين، ويحمَل علىٰ متن شاحنة، وينقَل إلىٰ الطريق السريع، حتىٰ يتم التحقق من العنوان، ثم ينزَل من الشاحنة ويباشِر عمله. حيث تقوم الآلات الجزيئية بكل هذا. والأكثر إثارة هو أن الخلية يمكنها أن تتكاثر، حيث تنتج نسخة مطابقة منها تعمل بشكل كامل في نحو ٢٠ دقيقة.

وإذا لم تكن مُطَّلِعًا علىٰ النموذج المصغر المذهل الموجود داخل خلاياك، فنرجوا منك أن تطلع عليه مباشرة بعد الانتهاء من هذا الكتاب.[١] فنحن علىٰ ثقة بأنك ستذهل مما يحدث بداخل خلاياك الآن.

فكيف تعمل الخلايا بالضبط؟ وكيف تؤدي وظائفها المختلفة؟ تم الكشف عن هذا السر علىٰ مدار القرن الماضي تقريبًا، بدءً من إدراك أنه -علىٰ المستويات الصغيرة جدًا- يتركب كل شيء من ذرات. ولكي نفهم بيولوجيا

---

(١) بالنسبة لمن لا يريدون قراءة كتب الأحياء، فإننا نوصيهم من أعماق قلوبنا بكتاب (In Search of the Double Helix (1985)) لجون جريبين؛ لكونه أقل أكاديمية، مع أنه لا يزال تمثيلًا مذهلًا لبيولوجيا الخلية.

الحياة، نحتاج إلىٰ معرفة ما يحدث عندما ترتبط الذرات مع بعضها لتشكل جزيئات.

علىٰ كوكب الأرض، نادرًا ما توجد ذرات منفردة، وإنما نحن معتادون أكثر علىٰ الجزيئات. وعندما نشرب كوبًا من الماء، نشعر بأنه سائغ وراوٍ للظمأ، بيد أننا نعرف من خلال دروس العلوم التي حضرناها في المدرسة أنها في الواقع عبارة عن عدد يوشك أن يكون لا نهائيا من جزيئات الماء المهتزة. وكل منها متطابق في جوهره، حيث يتكون من ذرتي هيدروجين مرتبطتين بذرة أكسجين (شكل ٦).

كما توجد جزيئات أخرىٰ. فغلافنا الجوي تسود فيه جزيئات النيتروجين، التي بها ذرتان نيتروجين مرتبطتان ببعضهما. كما يوجد في غلافنا الجوي أيضًا ثاني أكسيد الكربون، وهو عبارة عن ذرة كربون وذرتي أكسجين، والذي يخرج من البشر في أثناء الزفير، وهو المسؤول عن الكثير من القلق جرَّاء قدرته علىٰ تغطية الأرض وتدفئة الغلاف الجوي. ولا شك في أن ٢١٪ من الغلاف الجوي يتكون من الجزيء الذي نعرفه ونحبه ونحتاجه، والذي يحوي ذرتي أكسجين مرتبطتين معًا.

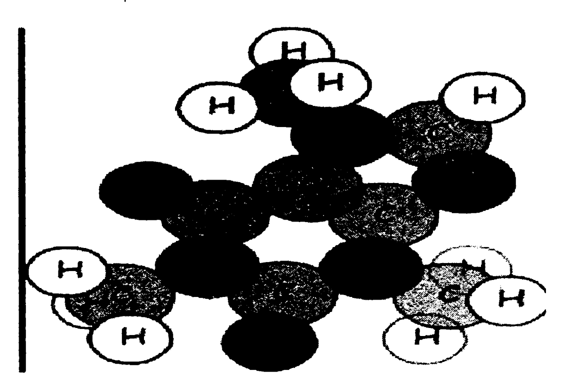


شكل ٦: تتكون جزيئات الماء من ذرة أكسجين وذرتي هيدروجين، ويبدو أن لديها دورًا خاصًا في كيمياء الحياة. لاحظ أن الذرات خاضعة لمقياس الرسم. وتُقاس أحجام الذرات بمدارات إلكتروناتها، وليس كتلة الأنوية. فبالرغم من أن الأكسجين أثقل ١٦ مرة من الهيدروجين، إلا أنه لا يكبره سوىٰ ١٣ في المائة؛ وذلك لأن نواته ذات المزيد من الشحنات الموجبة تحتفظ بالإلكترونات علىٰ مقربة منها.

وهذه كلها جزيئات بسيطة جدًّا؛ فهي ذات عدد قليل من الذرات المرتبطة. وتستطيع بعض العناصر الكيميائية أن تشكل سلاسل وحلقات ذرية طويلة مكونةً جزيئات معقدة. فعلىٰ سبيل المثال، يطفوا بين جزيئات الماء في فنجان من القهوة كل من -المركبات الكيميائية- (furfurylthiol-2) و-3-mercapto) (methylbutylformate-3 وغيرهما؛ مما يمنحنا رائحة القهوة ومذاقها الرائعين.

ناهيك عن الكافيين (trimethylpurine-2.6-dione-1.3.7) الذي هو أنسب ما تبدأ به يومك. غير أن الأسماء المعقدة نتيجة فرعية ضرورية لهذا العدد الضخم من الطرق التي ترتبط بها الذرات مكونة جزيئات. فالكافيين -علىٰ سبيل المثال- لديه عشرات الذرات المعدودة الدائرة والملتفة كما في الشكل ٧. وكما سنرىٰ، فإن هذا الشكل مهم جدًّ بالنسبة للطريقة التي تتفاعل بها الجزيئات بما في ذلك الطريقة التي يمنحك بها الكافيين تلك الحيوية الزائدة في الصباح.

وقد يكون أكبر جزيء سمعت به هو الدنا (DNA). وهو جزئ ذو سلسلة طويلة مكون من سِقَالَة ملتوية من الروابط الجزيئية. حيث توجد أربع وحدات جزيئية رئيسية، وهي الجوانين، الأدينين، الثايمين، والسيتوزين، والتي تربط تلك السقالة في هذا الشكل الحلزوني المزدوج الشهير. وشأنها شأن سلسلة الحروف، فإن الترتيب الذي تظهر به علىٰ امتداد شريط الدنا يقوم بتشفير المعلومات.



شكل ٧: الكافيين، وهو عبارة عن جزيء معقد، لا يزال يؤدي دورًا مهمًّا في ثقافة البشر.

وإذا رتبنا الدنا الموجود في إحدىٰ خلاياك ووضعناه في خط مستقيم؛ سيبلغ طوله عدة أمتار، وسيبلغ عرضه عشرات معدودة من الذرات. فكيف يمكن تعبئته داخل خلية واحدة؟ هناك خاصية مثيرة أخرىٰ لدىٰ بعض الجزيئات: وهي الانثناء.

ولكي نفهم ذلك؛ لنعد إلىٰ جزيء بسيط، ألا وهو الماء. فالشكل الذي يتخذه الجزيء هو معركة بين التجاذب والتنافر بسبب اختلاف الشحنات علىٰ مستوىٰ نواة الذرة والإلكترونات. فحين تتحد الذرات؛ يستقر الجزيء، حيث توجد زاوية مقدارها ١٠٤.٤٥ درجة بين ذرتي الهيدروجين وذرة الأكسجين (شكل ٦).

كما يمكن للجزيئات الأكبر أن تنثني بطرق عديدة، مع الاحتفاظ بالنسق الدقيق وفقًا لكيفية تشكلها. فالدنا -علىٰ سبيل المثال- ينثني إلىٰ لَيَّة داخل لَيَّة، واضعًا نفسه في الحيِّز الضئيل المتوفر داخل نواة الخلية.

ولكن ما الذي يقوم به الدنا فعليًّا؟ كيف لجزيء كبير مُلتَوٍ أن يُكوِّنك؟ كلمة السر هنا هي البروتينات. حينما تخطر البروتينات في بال معظمنا، فإننا نفكر في شيء ما له علاقة باللحم أو الأنظمة الغذائية أو ربما تلك الأطعمة الضخمة المتراكمة والمزينة بشكل غريب المتوفرة في «محلات الأغذية الصحيَّة». ولكن بالنسبة لمتخصص في البيولوجيا الجزيئية، فإن البروتينات عبارة عن جزيء كبير، بعضها لديه أكثر من نصف مليون ذرة منفردة. ومن خلال البروتينات يمكن للخلايا أن تصنع مزيدًا من الخلايا والأنسجة والأعضاء.

فكيف تقوم الخلايا بصنع بروتينات؟ إليك النسخة القصيرة. يتم بناء البروتينات من جزيئات أصغر تسمىٰ الأحماض الأمينية. حيث يمكن لهجاء مكون من ٢٠ حمضًا أمينيًّا أن يجتمع داخل الخلايا -حرفًا تلو الآخر- مكونًا عددًا ضخمًا من البروتينات. حيث إن البروتينات التي تحتاج إليها الخلية مشفرة داخل الدنا، فهي مكتوبة بحروف علىٰ امتداد الشريط. فيتم حلُّ الجزء المعني من شريط الدنا ونسخه في جزيء يُسمَّىٰ الرنا الرسول (messenger-RNA or mRNA). حيث

يُستخدم الرنا الرسول كشفرة من قبل مصنع يُسمَّىٰ الريبوسوم. ثم تُقرَأ مجموعات مكونة من ثلاثة حروف دنا، ويُنزَع الحمض الأميني المقابل لها من الرنا الناقل (transfer-RNA)، ويُلحق بنهاية سلسلةَ البروتين الناشئة.

وبينما تدير البروتينات خط إنتاج الريبوسومات، فإنها تلف نفسها علىٰ هيئة أكثر اندماجًا. وشأنها شأن الدنا، تستطيع البروتينات حشد ذراتها العديدة داخل حيِّز ضئيل. ولكن ليس في أي حيِّز قديم وحسب، حيث إن الطريقة التي يلتوي بها البروتين ضرورية لكيفية تفاعله مع الجزيئات الأخرىٰ، ومن ثم فهي ضرورية لوظيفته داخل الخلية.

إذا سخنت عينة من البروتين بلطف؛ فإن الطاقة الزائدة تجعل جزيئات البروتين -التي هي شديدة الارتباط- تنحل. فإذا تركتها تبرد ثانية؛ تلتوي البروتينات ثانية وتعود إلىٰ هيئتها السابق. وهذا مبهرٌ جدًّا؛ لأن الجزيئات ذات السلاسل الطويلة ليس لديها ذاكرة تخبرها بهيئتها السابقة، ولا يمكن لشيء أن يوجهها إلىٰ تلك الهيئة سوىٰ التنافر والتجاذب الحادث بين الإلكترونات والنواة. ولا نعلم حقًّا كيف يتمكنون من فعل ذلك، فلا تزال «معضلة انثناء البروتين» إحدىٰ المعضلات الرئيسية لدىٰ العلم الحديث[١]

ما الذي يجعل هيئة انثناء البروتين مهمة علىٰ أيَّة حال؟ لأنه بالنسبة للبروتينات، ليس المهم ما بداخلها، بل ما هو خارجها! فبمجرد أن ينثني البروتين إلىٰ هيئته المعقدة، تصبح الذرات الملتوية نحو الداخل فعليًّا مختفية عن العالم الخارجي. بيد أن تلك الذرات التي علىٰ السطح الخارجي -بلغة الإدارة- تصبح في مواجهة الجمهور، كما أن الهيئات التي تقدمها تلك الذرات تتحكم تمامًا في كيفية تفاعل البروتين مع البروتينات الأخرىٰ والأبنية الجزيئية. حيث إن تلك الوحدات الذرية يمكنها الاستقرار في أبنية جزيئية أخرىٰ.

---

(١) إذا أردت المساعدة في حل معضلة انثناء البروتين، يمكنك المساهمة بالقوة الفائضة لحاسوبك أثناء نومك. ببساطة سجل في موقع (folding. stanford.edu) ويمكنكِ الاطمئنان علىٰ أن حاسوبك الان يعمل علىٰ حل أحد ألغاز البيولوجيا الجزيئية الرئيسية.

ولذلك، عندما تشم فنجان قهوتك، يكون لدىٰ الجزيئات المسؤولة عن العبق الشهي مجموعات ذرية رئيسة يمكنها التفاعل مع أبنية جزيئية في أنفك، مُرسِلةً إلىٰ مخك رسالة تخبره بوجود قهوة بالقرب منك.

بيد أنه قبل أن نستمر، علينا أن نوضح أن انثناء البروتين ليس دائمًا مثالي الشكل، وأن بعض البروتينات قد ينتهَي بها الأمر إلىٰ أن تصير مشوهة قليلًا وبسبب تلك الأسطح الجزيئية الخاصة بالبروتينات المشوهة، فإنها تكون غير نشطة بشكل عام، غير أن هيئتها الجديدة أحيانًا ما تعثر علىٰ فراغ جزيئي جديد يناسبها، ويمكن لتلك الجزيئات أن تنشط وفقًا لطريقة جديدة خاصة بها. ومع ذلك، فمع وجود عَقْد الحياة الجديدة هذا، إلا أنه ليس من الضروري أن تكون تلك البروتينات مفيدة؛ حيث إن بعضها بريونات (prions) تسبب أمراضًا مثل مرض كروتزفيلد جاكوب الذي يُذهِب العقل.

لقد أماطت البيولوجيا الجزيئية الستار عن أسرار الحياة. فالآلية الجزيئية تعمل بكفاءة داخل كلٍّ منا. كما تتولىٰ الجزيئات مسؤولية القيام بالمهمة كلها: فهي التروس، والينابيع، والوقود، وشاحنة الإمدادات ووسائل الدفاع وهي الشفرة والمشفر. كما تقوم سويًّا بصنع الخلايا، وتجمعها في أنسجة، والأنسجة في أعضاء، والأعضاء في كائنات حية[١]

(١) حينما تنظر إلىٰ إناء من زهور البيتونيا، قد تندهش من الفجوة التي تبدو هائلة بين الحياة الحيوانية والنباتية. ولكن إذا أردت أن تنزل إلىٰ أرض الواقع، وتنظر إلىٰ التشابهات التي بين الهيموجلوبين -الجزيء الموجود في دم الانسان والمسؤول عن حمل الاكسجين إلىٰ أنسجتك- والكلوروفيل -الجزيء المسؤول عن امتصاص ثاني أكسيد الكربون في النبات-، تجد أن الهيموجلوبين عبارة عن جزيء علىٰ شكل حلقة مبنية حول ذرة حديد، في حين أن الكلوروفيل عبارة عن جزيء يشبه الحلقة مبني حول ذرة ماغنسيوم. تفحصها، ودقق النظر فيها، وتأمل ما يوحي به هذا عن الحياة علىٰ سطح كوكب الارض.

آلية الذرات

إن الآلية الجزيئية الخاصة بك يحكمها تجاذب وتنافر القوىٰ الكهرومغناطيسية علىٰ مستوىٰ الذرات المنفردة. فما هو قدر تعقيد الذرات؟

إن فكرة بناء كل الأشياء المادية من مجموعة محدودة من وحدات البناء -الذرات- هي فكرة فلسفية قديمة، بيد أن إدراك أن العالم مبني بهذه الطريقة فعلًا ظهر علىٰ نحو بطيء نسبيًّا. وقد أصيب العالم الكبير لودفيج بولتزمان (Ludwig Boltzmann) باليأس، مما أدىٰ إلىٰ انتحاره عام ١٩٠٦، علىٰ إثر المقاومة المستمرة لأفكاره المتضمنة لأن خواص الغازات يمكن تفسيرها من خلال افتراض أنها تكونت من العديد من الذرات المتصادمة. وقد بدأ ريتشارد فينمان (Richard Feynman) محاضراته الأسطورية في الفيزياء باختيار أهم العبارات لنقلها إلىٰ الفيزيائيين المستقبليين، وهي: «كل الأشياء مكونة من ذرات، والتي هي جسيمات صغيرة في حركة مستمرة، وتتجاذب حينما تبتعد عن بعضها لمسافة قصيرة، غير أنها تتنافر عند ازدحامها مع بعضها.»

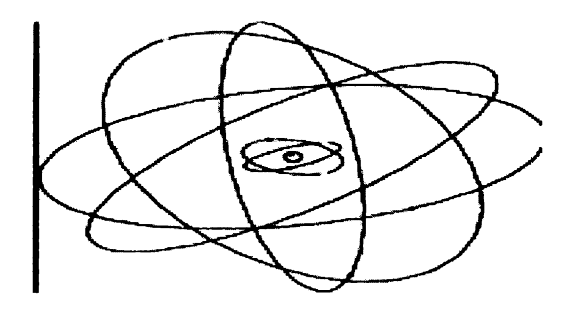
ومن ثم، فإنه من خلال تفكيك الجزيئات العديدة التي يتكون منها الإنسان، يبدأ ظهور البساطة. حيث إن الجزيئات عددها مهول، بيد أنها مكونة من عدد محدود من وحدات البناء المختلفة. في الواقع، لقد زودت الطبيعة هذا الكون بـ ٩٢ عنصرًا أساسيًا فقط[١]

---

(١) بينما وفرت الطبيعة ٩٢ عنصرًا طبيعي الحدوث، إلا أن عددًا مهولا من الذرات يمكن تحضيره معمليًّا. ومع ذلك، فقد ظهر أن تلك الذرات غير مستقرَّة، وسرعان ما تنهار ثانية وتعود إلىٰ عناصر الكون.

فما هي الذرة إذن؟ في المدرسة، يحصل الطلاب علىٰ تصور عام عن الذرة وهو أنها عبارة عن كتلة ذات شحنة موجبة تُسمَّىٰ النواة، تحوم حولها سحابة من الإلكترونات السالبة الشحنة، مما يجعل إجمالي الشحنة الكهربية للذرة متعادلًا وتتكون النواة من قطع صغيرة منفردة تسمىٰ النُويَّات، وهي عبارة عن: البروتونات التي تحمل كل الشحنة الموجبة في النواة، والنيوترونات الأثقل منها قليلًا والتي لا تحمل شحنة فائضة.

يعرض الشكل ٨ رسمًا توضيحيًّا للذرة، لكن مقياس رسمه غير حقيقي. حيث تدور الإلكترونات علىٰ مسافات أكبر بكثير جدًّا من حجم النواة. وهذا يعني أن معظم الذرة -وبالتالي جميع الأجسام المتكونة من الذرات بما في ذلك نحن- عبارة عن فراغ تام. فإذا قلنا مثلًا إن حجم النواة هو نفس حجم الذبابة، فحين إذن تدور الإلكترونات علىٰ مسافة تبعد أكثر من مائة متر[١]



شكل ٨: عرض تخطيطي لذرة الكربون حيث تدور ستة إلكترونات حول نواتها. لاحظ أن مقياس رسم تلك الصورة غير حقيقي. كما أن الخواص الكيميائية للكربون تحددها حقيقة وجود أربعة إلكترونات في المدار الأبعد. فهذا الجزء من ذرة الكربون هو الذي يتفاعل مع العالم الخارجي.

كما أن الاختلاف الوحيد بين عنصرين كيميائيين هو شحنة النواة الذي يحدده عدد البروتونات التي بها. ومعظم الذرات التي تعرفها هي ذرات متعادلة

(١) للاطلاع علىٰ مشهد أكثر تفصيلا وتأريخًا لاكتشاف بناء الذرة، نوصي بهذا الكتاب الرائع (The Fly in the Cathedral (Cathcart, 2004)).

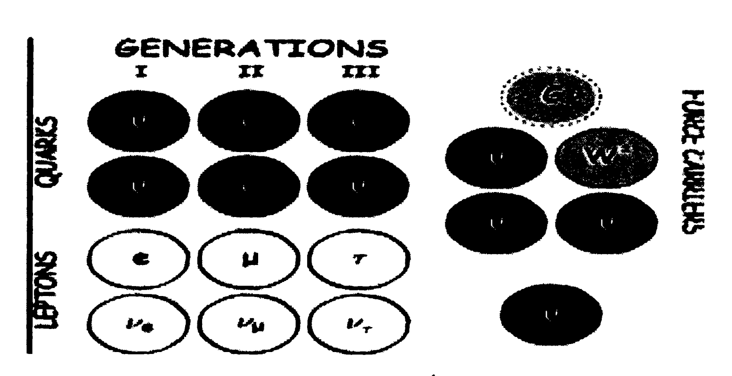
كهربيًّا، ولذلك فإن لديها العدد نفسه من الإلكترونات التي تدور حول النواة. وبالنسبة للعنصر الواحد، قد تختلف الذرات المنفردة في عدد النيوترونات؛ مما يمنحنا نظائر مختلفة. ولهذه النظائر دور مهم في قصتنا، ولكن بما أن نظائر العنصر تعتبر متكافئة كيميائيًّا تقريبًا؛ فلن نكترث الآن بالفرق بينهما.

ها هي الصورة الكاملة. إن تعقيد العمليات الكيميائية داخل الخلية أمر مهول. ومع ذلك، إذا تعمقنا أكثر، نكتشف أن جزيئات الحياة مكونة من عدد محدود من العناصر الذرية، وهو ٩٢ عنصرًا فقط. وبدورها، فإن تلك الاثنتين والتسعين وحدة مكونة من ثلاثة أجزاء فقط: بروتونات، ونيوترونات، وإلكترونات. وشأنها شأن مكعبات الأطفال، فإنه يمكن ترتيب عدد محدود من تلك الأجزاء في عدد كبير من المجموعات المخلفة.

الآلية الأساسية

لا يزال بوسعنا التعمق أكثر. فالنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات يسرد الجسيمات التي نعتقد أنها أساسية، والتي يتكون منها كل شيء آخر. فلنلتقي إذن بالمجموعة كلها.

ومع كل محاولاتنا الجاهدة، إلا أننا لم ننجح في تقسيم الإلكترون electron إلىٰ أجزاء أبسط. لذا يبدو أن الإلكترون مكونًا أساسيًّا، أي وحدة بناء أولية للكون. ومع ذلك، فباستخدامنا محطمات ذرات قوية -والتي تفعل ما يوحي به اسمها، وتُعرَف بمسرعات الجسيمات particle accelerators؛ استطعنا أن نتفحص ما بداخل البروتونات protons والنيوترونات neutrons. وقد عثرنا بداخلها علىٰ أجزاء تُسمىٰ كواركات quarks. وشأنها شأن الإلكترونات، لم نستطع تحطيم الكواركات إلىٰ أجزاء أصغر، ولذا نعتقد أن الكواركات أيضًا عبارة عن وحدات بناء أساسية للمادة.



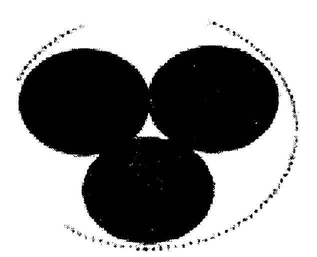
شكل ٩: في النموذج القياسي، تُعتبَر اللبتونات leptons والكواركات وحدات بناء المادة كلها، بالرغم من أن كل ما نراه فعليًّا في الكون يتكون من كواركات علوية وسفلية وإلكترونات. وهي مقرونة بحاملات القوة force carriers وبوزون هيجز Higgs boson المسؤول عن الكتلة.

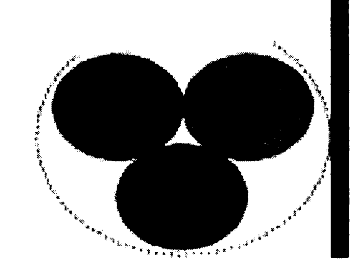
ويُظهِر الشكل ٩ جميع الأجزاء. حيث نجد داخل كلٍّ من البروتون والنيوترون الكوارك العلوي (u) والسفلي (d). كما يوجد الإلكترون (e) جهة اليسار. ويملك الإلكترون شحنة كهربية -١ وحدة، وشحنة الكوارك العلوي + ٢/ ٣ وحدة، والكوارك السفلي -١/ ٣ وحدة[١] وهذه الجسيمات الثلاثة معًا هي التي تشكل جميع المادة التي تعرفها.

فلكي تحصل علىٰ بروتون؛ تجمع كواركين علويين وآخر سفلي، فيصير مجموع الشحنة +١، ولكي تحصل علىٰ نيوترون؛ تضيف كواركًا علويًّا إلىٰ كواركين سفليين، فيصير مجموع الشحنة الناتجة صفرًا (الشكل ١٠). ويُعَدُّ كل من البروتون والنيوترون أمثلة للجسيمات التي تُسمَّىٰ باريونات، والتي تتكون من ارتباط ثلاث كواركات ببعضها.

---

(١) قد يُصاب الدارس بشيء من التوتر بسبب الشحنات الكسرية للكواركات، بيد أن هذا يرجع إلىٰ حقيقة اكتشاف الالكترونات أولا فقد يبدو الامر منطقيًّا لو تم تعيين شحنة الكوارك السفلي -١، والعلوي +٢، والالكترون -٣، غير أن اكتشاف الالكترون أولا أدىٰ إلىٰ الالتباس الكبير لدىٰ الطلاب الدارسين للفيزياء. وإذا لم تصدقنا؛ اسألهم كيف يتدفق تيارٌ ما في سلك، قياسًا إلىٰ حركة الالكترونات.





شكل ١٠: الكواركات المكوِّنة لكل من البروتون والنيوترون. بينما توجد ستة كواركات مختلفة متاحة، إلا أن تلك الجسيمات الأساسية -التي هي أجزاء صغيرة من نواة كل ذرة في الكون- تتكون من الكواركين الأخف، وهما العلوي والسفلي.

فبمجرد أن تحصل علىٰ بروتونات ونيوترونات، فإن كل ما تحتاجه لتحصل علىٰ أنوية ذرية هو أن تجمعهم، ثم تضيف الإلكترونات لتحصل علىٰ ذرات، ويليها الجزيئات، فالخلايا، فالبشر[١]

وقد يتساءل القارئ الفَطِن: «ثمة طريقتان يمكننا من خلالهما جمع الكوارك العلوي والآخر السفلي، فهل نستطيع جمع ثلاثة كواركات علوية وأخرىٰ سفلية مع بعضهم؟»

تهانينا! إنك الآن أخصائي جسيمات (مبتدئ). نعم، توجد تلك التجمعات الإضافية. حيث إن جمع ثلاثة كواركات علوية ينتج عنه الجسيم ذو الاسم المُلفِت «دلتا موجب موجب» (الذي يُرمَز له بالرمز: Δ^{++}) والذي يمتلك شحنة موجبة ضعف شحنة البروتون. كما أن الدمج الآخر لثلاثة كواركات سفلية، والذي هو «دلتا سالب» (ورمزه: Δ^{-}) عبارة عن جسيم شحنته سالبة له نفس شحنة الإلكترون. فلماذا لا نرىٰ تلك التجمعات الأخرىٰ من الكواركات في حياتنا اليومية؟ لأن تلك التجمعات غير مستقرة وسرعان ما تضمحل إلىٰ المادة

---

(١) **تنويه**: إن خلق الانسان بدءً من الكواركات أصعب بكثير مما توحي به تلك الفِقرة. ونحن نوصي بالمنهج التقليدي.

الطبيعية التي نراها حولنا، (ونعني بقولنا «سرعان» أن ذلك يحدث في نحو ٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ ثانية).

فماذا عن الجسيمات الأخرىٰ الموجودة في النموذج القياسي؟ أين وجدناها؟

علىٰ مدار أكثر من نصف قرن بقليل، كانت فيزياء الجسيمات في حالة من الفوضىٰ. وبينما لم تكن علىٰ نفس القدر الذي عليه بيولوجيا الخلية من الفوضىٰ، إلا أن التجارب الجديدة كانت تسفر عن أعداد مهولة من الجسيمات المختلفة. فالنموذج القياسي هو المنتج النهائي لعقود من العمل المكثف الذي قام به المتخصصون في الفيزياء وهم يبحثون عن البساطة الكامنة وراء ذلك التعقيد.

حيث اكتشفوا أنه يلزم وجود أكثر من الكوارك العلوي والسفلي لتفسير كل خواص الجسيمات التي نراها في مسرعات الجسيمات. وعلىٰ وجه التحديد، فإننا بحاجة إلىٰ أربعة كواركات إضافية، اثنان منهم تبلغ شحنة كل منهم +٢/٣، وهما الكوارك الفاتن charm quark والكوارك القذي في القمة top quark، بالإضافة إلىٰ اثنين آخرين تبلغ شحنة كل منهما -١/٣، وهما الكوارك الغريب strange quark والكوارك القاعي bottom quark. حيث إن الكواركات العلوية والسفلية هي أخف الكواركات، وكلما تقدمنا، ازدادت كتلة الكواركات. وتُعرف تلك الطبقات الثلاثة بأجيال الكواركات[١] والسبب في وجود ثلاثة أجيال من

---

(١) وكمتخصص جديد في مجال فيزياء الجسيمات، فإن مهمتك الاولىٰ هي إثبات وجود ٥٦ طريقة مختلفة للجمع بين ثلاثة كواركات من بين ستة محتملة، غير أن عدد الجسيمات التي تظهر في التجارب أكبر بكثير. حيث إن أحد أسباب ذلك هو أننا تجاهلنا الميزونات التي هي عبارة عن زوج مكون من الكوارك ومضاده. كما أن أحد الاسباب الاخرىٰ هو أن البروتونات -بعبارة أدق- سريعة الاثارة. حيث تُصوَّر الكواركات داخل البروتون وهي تدور حول بعضها. فإذا استطعنا إدخال بعض الطاقة؛ لتمكنا من تغيير هيئتها. وسوف تبدو تلك الحالة كبروتون -له نفس الكواركات، وله نفس الشحنة- ولكن لان لديه مزيدًا من الطاقة؛ فإن لديه كتلة أكبر. وقبل أن ندرك أن تلك الجزيئات كانت ببساطة عبارة عن حالات مُثَارة، كان يُطلَق علىٰ البروتون الاثقل بنسبة ٢٠% «دلتا موجب» (Δ^+).

الكواركات بينما يبدو أن الكون لا يستخدم سوىٰ جيل واحد هو لغزٌ كوني لم يتم تفسيره بعد.

فلماذا أسماء الكواركات السخيفة هذه؟ لأنه كان علينا أنِ نسميها بأسماء ما. وليس من السهل تسمية شيء لا يمكنك رؤيته، والذي هو في نظرياتنا بالأساس عبارة عن نقطة ذات قِيَم قليلة مرتبطة بها.

ولا يفوتنا ذكر أن الإلكترون لديه أشقاء أثقل منه، وهم الميون (μ) muon والتاو (τ) tauon، ويتكون منها ما يُعرف بأجيال الليبتونات lepton. وعلىٰ الأرجح، فإن حقيقة وجود ثلاثة أجيال من كل من الليبتونات والكواركات توحي بشيء عميق حول هذا الكون. غير أننا لا نعرف شيئًا عنه.

ولاستكمال هذه الصورة؛ يقترن كل من أفراد عائلة الليبتونات بنظير طيفي عديم الكتلة تقريبًا يُسمَّىٰ نيوترينو (ν) neutrino. وبينما يتم إنتاجه بكميات كبيرة في التفاعلات النووية، فإن تلك «الجسيمات المحايدة الصغيرة» (وهذه التسمية هي ترجمة اللفظ الإيطالي «نيوترينو») نادرًا ما تتفاعل، ومن ثم فهي تجري خلال المادة كما لو كانت غير موجودة. في الواقع، في كل ثانية، تعبر تريليونات النيوترينوات المُنتَجَة في قلب الشمس من خلال جسدك دون أن تسبب لك أي ضرر.

كما أن لكل جسيم توأمه: أي جسيمه المضاد. فقد رصدنا أيضًا أن لكل جسيم تم رصده في مسرع جسيمات جسيمًا له نفس الكتلة تمامًا، ولكن شحنته مضادة. ولأسباب تاريخية، يُسمىٰ الجسيم المضاد للإلكترون «بوزيترون»، في حين أن الآخرين يُضاف إلىٰ آخر أسمائهم فقط كلمة «مضاد (anti)». غير أن بعض الجسيمات مثل الفوتون -الذي هو جسيم الضوء- هي نفسها الأجسام المضادة لنفسها. وحين يلتقي أحد الجسيمات بالجسيم المضاد له؛ يمكن أن يفنيا ويتحولا إلىٰ فوتونَيْن (اثنين).

وفي الفصل التالي، سننظر في كيفية عمل القوىٰ، ولكن من حيث بناء المادة وفقط. فهذه الأجزاء الاثنا عشر (وتوائمها المضادة) هي وحدات البناء الأساسية في الكون.

ها نحن قد وصلنا إلىٰ البساطة. فجميع ما نراه من تعقيد مبني من حفنة من الجسيمات الأساسية مُرتَّبة مثل مكعبات الليجو بطرق عديدة، ويربطها عدد أصغر من القوىٰ الأساسية. فالكون كله (وكذلك أي نمط حياتي موجود فيه) مبني بالطريقة نفسها.

وفي الفصول القادمة، سوف نتناول ما يحدث عندما نعبث بتلك القوىٰ، علىٰ أنه يمكننا البدء بالسؤال عن كيفية اختلاف الكون عما هو عليه إذا غيرنا كُتَل الجسيمات الأساسية.

اختراق الأساسات

تتطلب أية مجموعة من مكعبات الليجو -المكونة من ثلاثة أنواع من المكعبات- إعمال الكثير من الخيال في ذهن الطفل، وذلك إذا أراد أن يصنع شيئًا مثيرًا. ومع ذلك، إذا نظرت حولك تجد أن: ثلاثة جسيمات فقط -الإلكترون، والكوارك العلوي، والآخر السفلي- تشكل كل ما تقع عليه عينك.

والآن، بعد أن وصفنا مجموعة وحدات البناء الأساسية المحدودة التي تخلق تلك الأبنية الكثيرة التي نراها حولنا -من ذرات وجزيئات وأشجار وأشخاص ونجوم وكواكب وغير ذلك- فقد حان الوقت للسؤال عن كيفية اختلاف الكون عما هو عليه لو كانت وحدات البناء هذه مختلفة.

إن هذه الجسيمات بسيطة جدًّا لدرجة أنها يمكن وصفها من خلال خواص معدودة، كالكتلة والشحنة. حيث تبدوا قيم الشحنات -كما سبق وأن رأينا- مُرَتَّبة، وذلك في وحدات شحنة الإلكترون، وشحنتي الكواركين التي هي + ٣/٢ و-٣/١. كما توجد قيم أخرىٰ مرتبطة بتلك الجسيمات تُعرَف بقيم الكوانتم، وهي الدوران المغزلي (spin) - والدوران النظيري (isospin) - والدوران النظيري الضعيف (weak-isospin) - إلخ. ويمكن التعبير عنها أيضًا بوحدات عددية صحيحة مُرَتَّبة وأنيقة. وعلىٰ الجانب الآخر، فإن إحدىٰ خواص تلك الجسيمات التي ليست شديدة الترتيب هي تلك التي قد نعتبرها الأهم علىٰ الإطلاق، ألا وهي كُتَل الجسيمات.

فعلىٰ سبيل المثال، تزداد كتلة الكوارك العلوي والآخر السفلي عن كتلة الإلكترون بمقدار ٤.٥ و٩.٤ مرات علىٰ التوالي[١] وهذه ليست قيم مُرتَّبة وأنيقة. ومع ذلك، فهي أساسية بالنسبة للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات. ومن المحبط أنه يمكننا قياسهم، غير أننا عاجزين عن تفسيرهم علىٰ أساس أي شيء آخر.

كما أن سائر المقوِّمات الأخرىٰ للنموذج القياسي ليست أحسن حالًا حيث إن الكواركات الأربعة الأخرىٰ أثقل من الإلكترون بـ ١٩٠، و٢٤٩٥، و٨١٨٠، و٣٣٨٩٦٠ مرة، في حين أن الميون والتاو أثقل من الإلكترون ٢٠٦.٧٦٨٢٨٤ و١٥ ٣٤٧٧٠ مرة.

هل ثمة شيء يميز القيم المحددة التي لديهم؟

ماذا يحدث في كون تختلف فيه كُتَل الإلكترون والكوارك اختلافًا طفيفًا؟

قد يظن المرء أنه بما أن الحياة شديدة التحمُّل والجلَد؛ فقد تحصل علىٰ شكل مختلف من أشكال الحياة. وقد لا يبدو هذا الشكل مثلنا، ولكن بما أن الحياة علىٰ كوننا يمكنها أن تستخدم المزج الناتج عن التفاعلات الكيميائية في أي وقت؛ فقد يقوم أيٌّ من الأكوان القديمة بفعل شيء ما. أليس كذلك؟

---

(١) فنحن نقدر كتلة كل من الالكترون والكوارك العلوي والاخر السفلي بأنها ٠.٥١٠٩٩٨٩٢٨ ميجا إلكترون فولت، و٢.٣ مليون إلكترون فولت، و٤.٨ مليون إلكترون فولت علىٰ التوالي (Olive, 2014).

حشود الحظيرة الأساسية

في الواقع، من السهل نوعًا إعداد كون ليس فيه كيمياء علىٰ الإطلاق. كل ما عليك هو أن تمسك بلوحة أزرار كتل الجسيمات، وابدأ بصنع القليل من الأكوان.

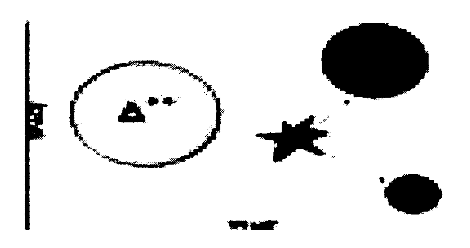
ومراعاة للتبسيط؛ لن نغيَر سوىٰ كتلة كل من الكواركات العلوية والسفلية، والتي هي عبارة عن المكونات الأساسية للبروتونات والنيوترونات. قد تظن أن هذا ببساطة سينتج بروتونات ونيوترونات أثقل، ومن ثم أشياء أثقل قليلًا بشكل عام. ومع ذلك، فإن الصورة معقدة قليلًا أكثر مما تظن.

تذكر لماذا -مع وجود العديد من الكواركات والعديد من الطرق لجمعها معًا- لا نرىٰ تكونًا للمادة سوىٰ من بروتونات (علوي-علوي-سفلي) ونيوترونات (علوي-سفلي-سفلي). والسبب في ذلك أنه عندما نستخدم مسرعات الجسيمات لصنع جسيمات أثقل مثل (Δ^{++}) (دلتا موجب زائد علوي-علوي-علوي)، أو ($\sum^{+}$) (سيجما زائد علوي-علوي-غريب)، أو حتىٰ الميون؛ فإنها تضمحل إلىٰ جسيمات أخف.

ولكن لماذا يمكن اضمحلال الجسيمات الأثقل إلىٰ جسيمات أخف؟ تكمن الإجابة في معادلة أينشتاين الشهيرة ($E = mc^2$). فمن خلال ضرب كتلة الجسيم (m) في سرعة الضوء (c) مُربَّعًا؛ يمكننا حساب مقدار الطاقة المتحررة (E). حيث يمكن استغلال تلك الطاقة في شراء جسيمات جديدة، طالما يمكن للجسيم القديم أن يتحمل ثمنها.

تأمل المثال الوارد في الشكل ١١. حيث إن جسيم (Δ^{++}) لديه كتلة ١٢٣٢ تُقدَّر بوحدة مناسبة (ألا وهي: ميجا إلكترون فولت (MeVs)، وحدة قياس الطاقة لدىٰ المختصين في فيزياء الجسيمات)، بينما لكل من البروتون والبيون (أي: الميزون، وهو عبارة عن تجمع كوارك ومضاده) طاقات مرتبطة بكتلتيهما، حيث يبلغ مقدار تلك الطاقات ٩٣٨ و١٤٠ ميجا إلكترون فولت (MeVs) علىٰ التوالي. وبهذا يكون لدىٰ جسيم (Δ^{++}) أكثر من الطاقة اللازمة لدفع الحساب، ومن ثم؛ يُسمَح بالاضمحلال إلىٰ بروتون وبيون. وتُمنَح الطاقة المتبقية إلىٰ البروتون والبيون كطاقة حركية إضافية، فتصبح طاقة الحركة. فترحل سريعًا عن مكان تلك الصفقة.

وسوف نتعرض لقوانين الحفظ بمزيد من التفصيل عندما نُلقِي نظرة أعمق علىٰ التناظرات التي في الكون، ولكن وجود طاقة كافية ليس كافيًا لضمان إبرام الصفقة. كما يحفظ اضمحلال (Δ^{++}) أيضًا ما يُعرَف برقم الباريون؛ حيث يشترط أن يكون العدد الكلي للكواركات مطروحًا منه عدد الكواركات المضادة هو نفسه قبل الاضمحلال وبعده. ونظرًا لأن الميزون -الذي هو زوج من الكوارك وضده- لديه رقم باريون يساوي صفرًا؛ فإنه لا يشارك في الحساب. وثمرة بقاء رقم الباريون هذا أنه حتىٰ لو كان لدىٰ (Δ^{++}) كتلة كافية -ومن ثم طاقة كافية- فإنه لا يمكنه الاضمحلال إلىٰ بروتونين؛ وذلك لإن رقم الباريون سيختلف عما كان عليه.



شكل ١١: إن (Δ^{++}) أضخم من مجموع كتل البروتون والبيون (π^{+}). وهذا يعني أنه من الممكن من حيث الطاقة لـ (Δ^{++}) أن يضمحل إلىٰ بروتون وبيون.

ولذا يحمل البروتون لقبًا مهمًا جدًّا، فهو: أخف الجسيمات المكونة من ثلاثة كواركات. كما أن البروتون مستقر نظرًا لعدم وجود باريون أخف يضمحل إليه[١] حيث تنتهي الرحلة هنا. وفي المقابل، يضمحل النيوترون. فإذا غادر هيئته، يظل أمامه نحو ١٥ دقيقة قبل أن يصبح بروتونًا وإلكترونًا ومضاد نيوترينو.

وفي وقت مبكر من عمر الكون، حيث لم يكن ثمَّ شيء سوىٰ حساء ساخن كثيف من الجسيمات والإشعاع، ظلت التصادمات العنيفة تنتج وتدمر جسيمات من مختلف الكتل والأنواع باستمرار. وعندما برد الكون، اضمحلت الباريونات الأضخم إلىٰ بروتونات ونيوترونات. وقد تمكن الكون من الاحتفاظ ببعض النيوترونات داخل الأنوية في غضون الدقائق القليلة الأولىٰ، وذلك قبل أن تضمحل.

وبالعبث بكتل الكوارك العلوي والسفلي، يمكننا تغيير الكثير من تلك القصة. حيث يمكننا تجريد البروتون من لقبه «الأكثر استقرارًا»، بل وحتىٰ التأثير في النيوترونات داخل الأنوية. فلنرىٰ ما سيحدث.

كون Δ^{++}: لنبدأ بزيادة كتلة الكوارك السفلي بمعامل يبلغ نحو ٧٠. حينها ستتحول الكواركات السفلية من فورها إلىٰ كواركات علوية (وأشياء أخرىٰ)، حتىٰ داخل البروتون والنيوترون. وبذلك، فهي سرعان ما تضمحل إلىٰ الجسيم الحامل للقب «الأكثر استقرارًا»، صديقنا القديم (Δ^{++}). حينئذ سنجد أنفسنا في «كون Δ^{++}».

وكما رأينا، فإن جسيم (Δ^{++}) هو عبارة عن باريون يحوي ثلاثة كواركات علوية. ومع ذلك، فإن الكتلة الزائدة -وبالتالي التنافر الكهرومغناطيسي- في جسيمات (Δ^{++}) تجعل من ارتباطها معًا -علىٰ عكس البروتون والنيوترون- أمرًا

---

(١) ثمة نُكتة هنا. وهي أنه إذا لم يتم الاحتفاظ برقم الباريون علىٰ أكمل وجه؛ حينئذ ستضمحل البروتونات في النهاية. غير أن هذا لم يُرصَد أبدًا، كما أن المعيار الزمني المحسوب لذلك الاضمحلال متعدد، وله أنظمة عديدة أكبر مقدارًا من عمر الكون الحالي. ونحن إنما نعامل البروتونات علىٰ أنها مستقرة بناء علىٰ ذلك.

أصعب بكثير. غير أنه يمكن لجسيمات (Δ^{++}) أن تستولي علىٰ إلكترونين لكي تصنع عنصرًا يشبه الهيليوم. ولكن هذا سيكون هو العنصر الوحيد في ذلك الكون. وداعًا أيُّها الجدول الدوري! إن قاعدة بيانات (PubChem) التي علىٰ الإنترنت تورِد ٦٠٧٧٠٩٠٩ مركبًا كيميائيًّا (وتُحصيها[1])، بينما في كون Δ^{++}، لم تكن لتورِد سوىٰ مركب واحد. وبعد بدئه كعنصر الهيليوم، لن يمر بأي تفاعل كيميائيٍّ.

كون Δ^{-}: نبدأ بكوننا مرة أخرىٰ، وهذه المرة سنزيد كتلة الكوارك العلوي بمعامل ١٣٠. ومرة أخرىٰ، سيتم استبدال كل من البروتون والنيوترون بأحد أنواع الجسيمات المستقرة المكونة من ثلاثة كواركات سفلية تُعرَف بـ (Δ^{-}). وفي كون (Δ^{-}) هذا، حيث لا توجد نيوترونات للمساعدة في إضعاف قوة تنافر شحنتها السالبة، لن يوجد سوىٰ نوع واحد من الذرات أيضًا، وبتحسن هائل عما كان عليه كون (Δ^{++})، يوجد تفاعل واحد أيضًا! حيث يمكن لجسيمين (Δ^{-}) تكوين جزيء، بفرض أننا سوف نستبدل جميع الإلكترونات بمضاداتها المشحونة شحنة موجبة، وهي البوزيترونات.

كون الهيدروجين: لصنع كون هيدروجيني محض، نزيد كتلة الكوارك السفلي بمعامل لا يقل عن ٣. وهنا، ما من نيوترون آمن. وحتىٰ داخل الأنوية، تضمحل النيوترونات. ومرة أخرىٰ، علىٰ منهج الكيمياء الدراسي السلام! لأنه لن يبق لنا سوىٰ نوع واحد من أنواع الذرة، وتفاعل كيميائي واحد.

كون النيوترون: إذا كنت تظن أن كون الهيدروجين رتيب نوعًا ما؛ إذن لنَزِد كتلة الكوارك العلوي بمعامل ٦. فينتج عن ذلك انهيار البروتون. وعلىٰ عكس ما نرىٰ في كوننا، فإن البروتونات -بما في ذلك البروتونات المدفونة في أنوية الذرات التي تبدوا آمنة- تضمحل إلىٰ نيوترونات وبوزيترونات ونيوترينوات. وهذا هو أسوء كون قابلناه علىٰ الإطلاق: حيث لا توجد ذرات ولا تفاعلات كيميائية. وإنما محض فراغ رتيب لا نهاية له، مليء بنيوترونات خاملة رتيبة.

---

(1) pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

توجد أكثر من طريقة لصنع كون نيوتروني. قلِّل كتلة الكوارك السفلي بنسبة ٨٪، وسوف تستحوذ البروتونات التي في الذرات علىٰ الإلكترونات التي تدور حولها، مكونة نيوترونات. وسوف تنحل الذرات إلىٰ سحب نيوترونات رتيبة خالية من الكيمياء.

ماذا عن الجسيم الآخر المتعلق بكل أمورنا، أعني الإلكترون؟ بما أن الإلكترون (وجسيمه المضاد: البوزيترون) مشترك في اضمحلال النيوترون والبروتون؛ إذن يمكنه جعل الكون عقيمًا أيضًا. فعلىٰ سبيل، إذا زادت كتلته بمعامل ٢.٥؛ سنحصل علىٰ كون النيترون مرة أخرىٰ.

ويتلخص الوضع في الشكل ١٢. حيث تمثل كل نقطة في المخطط كونًا مختلفًا. ألق سهمًا لتكون بذلك قد اخترت كتلة الإلكترون والفرق بين كتلتي الكوارك العلوي والسفلي. وتُظهر المناطق الرمادية الأماكن التي ببساطة لن تحدث فيها الكيمياء المعقدة التي في كوننا، وإنما أكوان يحكمها بروتونات فقط (حيث الكون الهيدروجيني)، أو نيوترونات فقط. وعلىٰ الجانب الأيسر، ثمة منطقة علىٰ شكل وتد أبيض تُعبِّر عن الأكوان المقبولة، حيث تتيح الكيمياء فيها وحدات البناء الأساسية للحياة، بينما تعبر النقطة السوداء بداخلها عن موقع كوكبنا. وكما ترىٰ، نجد أنفسنا في تلك البقعة الصغيرة نسبيًّا من هذه الصورة، في مكان يسمح بوجودنا وتساؤلنا عن طبيعة الكون. وهذه هي البداية الفعلية لرحلة الضبط الدقيق.

شكل ١٢ : يُلخص أثر التغير في كتلة الإلكترون والاختلاف في كتلتي الكوارك العلوي والسفلي. وتنقسم المنطقة إلىٰ جزء به أكوان الكيمياء التي فيها رتيبة، وهو الجزء المظلل بالون الرمادي، بينما تسمح المنطقة البيضاء الصغيرة بالكيمياء اللازمة لحياتنا. وتمثل النقطة السوداء موقع كوننا. (بناء علىٰ شكل توضيحي مقتبس من هوجان ٢٠٠٩).

إن أحد الأجزاء المهمة لهذا المخطط هو أن نضع أعيننا نصب حدود المحاور. فقد خططنا تراوح الاختلاف بين الكواركات من ٠ إلىٰ ٧ (MeV)، وبالنسبة لكتلة الإلكترون من ٠ إلىٰ ٤ (MeV). وهذه هي المنطقة المثيرة في هذا المخطط، بينما باقي المناطق رتيبة ورمادية. أما إذا أردنا الحصول علىٰ انطباع بشأن صغر المنطقة البيضاء التي تسمح بوجود الحياة، فيمكننا أن نمد المحاور إلىٰ كتلة أكبر كوارك رصدناه، وهو الكوارك القمّي. ولكي نرىٰ ذلك، أضف ٤ كيلومترات من الورق الرمادي يمين المخطط وأعلاه وأسفله. (وإذا صنعت هذا المخطط الذي يبلغ ١٠٠٠٠ أكر، رجاء أرسل لنا صورته).

وإذا مددنا حدود بياناتنا التجريبية؛ سنصل إلىٰ ٦.٥ مليون (MeV) عند نهايات المخطط الذي يمكن أن يغطي معظم ولاية تاسمينيا، أو سويسرا بأكملها، أو نصف كوريا الجنوبية، أو معظم فيرجينيا الغربية، أو اثنين من نجوم الموت[١]، وذلك بحسب القارَّة أو الكون الذي تسكن فيه.

وتُسمَّىٰ أقصىٰ كتلة يمكن لنظرياتنا تناولها: كتلة بلانك. فعند هذه الكتلة، يُتوقع أن يتحول الجسيم إلىٰ ثقب أسود بالنسبة لنفسه. وليس لدينا نظرية حتىٰ الآن لجاذبية الكوانتم، أي نظرية تعرف ما يتعلق بالأشياء التي علىٰ مستوىٰ الكوانتم (كالجسيمات) وهي تحت سيطرة جاذبيتها الذاتية. ولذلك فإن كتلة بلانك عبارة عن حدٍّ ثابت لنظرياتنا الفيزيائية. وإذا كان بمقدورك تخيل أن يمتد المخطط إلىٰ بضع عشرات آلاف السنين الضوئية من كل الجوانب، فأنت تُبلي بلاءً أحسن منا.

وكما تتصور، فإن هذه هي الخطوة الأولىٰ في رحلة طويلة، لا يزال ينتظرنا فيها الكثير. ونحن لم ننته بعد من كتل الجسيمات الأساسية. فالنجوم، التي هي مصدر الطاقة التي تُحرك وجودنا، تسير وفق تفاعلات نووية. وكما سنرىٰ في الفصل التالي، فإن العبث بخواص الكواركات والإلكترونات يمكن أن يؤثر جِذريًّا في استقرار عُمر مصدر طاقة الحياة وفقًا لما نعرفه.

---

(١) هذه نجوم موت أصلية (تشبه تلك التي في فيلم "Star Wars: A New Hope"). وحجم نجم الموت الثاني (الذي في فيلم "Return of the Jedi") محل جدل محتدم علىٰ الانترنت.

تحديد خواص الذرات

إلىٰ جانب الكتلة، تحمل الجسيمات -كالإلكترونات والكواركات- خواص أخرىٰ تحدد تفاعلاتها مع الجسيمات الأخرىٰ. وإحدىٰ أهم تلك الخواص وأكثرها غرابة: دوران الجسيم.

وكما يوحي الاسم، فإن دوران الجسيم يشبه دوران كوكب الأرض، أو النحلة الدوارة التي يلعب بها الأطفال[1] كما توجد العديد من الاختلافات الرئيسة التي تؤثر بشكل كبير في طريقة سلوك المادة في هذا الكون.

أولًا، إن دوران الجسيمات كمومي، وهذا يعني أن الجسيم ليس بوسعه سوىٰ أداء عدد صحيح من وحدات الدوران غير القابلة للتجزئة. وفي حين تفتقر بعض الجسيمات إلىٰ الدوران، ولذا يُقال إنها جسيمات يبلغ دورانها صفرًا، إلا أن جميع الإلكترونات لديها نفس كمية الدوران تمامًا، وهي النصف (ولكن مرة أخرىٰ، بوحدات مناسبة). كما تؤدي بعض الجسيمات الأخرىٰ وحدة دوران واحدة، ويؤدي آخرون ثلاثة أنصاف دورة، بزيادة تبلغ نصف دورة.

وقد يبدو هذا مجرد إدارة حسابات؛ فما علاقة ذلك بما يقوم به الكون؟ حسنًا، يُقسِّم الفيزيائيون الجسيمات إلىٰ عائلتين: تلك التي لديها أعداد صحيحة من الدورانات (٠، ١، ٢، .) ويسمون بوزونات، وتلك التي لديها أعداد

(١) هل لا يزال لدىٰ الاطفال نحل دوار؟ يبدو أن معظم الاطفال في أيمانا هذه مسلِّطين وجوههم نحو الايباد والايفون. فقد اختلف الحال عما كان عليه حينما كنا صغارًا (مما يبعث علىٰ الشفقة).

نصف صحيحة من الدورانات ($\frac{1}{2}$، ١ $\frac{1}{2}$، ٢ $\frac{1}{2}$،) والتي تُعرَف بالفرميونات[١] ولا شك في أن أشهر البوزونات في العالم هو بوزون هيجز، ولكن توجد بوزونات أخرىٰ كما سنرىٰ لاحقًا. ولكن لماذا هاتان العائلتان؟

هذا أمر مرتبط بطريقة احتشاد الجسيمات معًا. فالبوزونات عبارة عن أشياء صغيرة مرنة، حيث يمكننا تعبئة المزيد والمزيد منها في صندوق صغير، من دون أن يوقفنا أي شيء. والبوزون الأشهر في حياتنا اليومية هو الفوتون، الذي هو جسيم الضوء، وعدد دورانه المغزلي ١. فإذا حاولت تعبئة صندوق ما بالفوتونات، فإن كل إضافة تضيفها لا تكترث كثيرًا بوجود فوتونات أخرىٰ مسبقًا داخل الصندوق.

ومع ذلك، لا تسري تلك القواعد نفسها علىٰ الفرميونات. فالفرميونات لا تحب فرميونات مشابهة، وبمجرد أن تنشئ محيطها الخاص؛ لا تسمح لأي فرميونات أخرىٰ بالدخول فيه.

وهذا أمر يواجهه كل من يحاول وضع منشفته في شاطئ مزدحم، حيث إن الشرود علىٰ مقربة شديدة من رواد الشواطئ المعتادين يُسفِر عن تحديقات محرجة. وإذا امتلأ الشاطئ، أصبح الوضع سيئًا للغاية[٢] كذلك الحال بالنسبة للفرميونات. فإذا حاولت تعبئة فرميونات في صندوق، حتمًا سيمتلئ الصندوق وستعجز عن إقحام المزيد.

---

(١) تُسمىٰ البوزونات علىٰ اسم الفيزيائي الهندي ساتيندرا ناث بوز. ينطق الفيزيائيون كلمة (bow-zon) هكذا «بوزون» (مثلما تُنطق كلمة (bow) عندما تعني قوسًا) بيد أن وسائل الاعلام يبدو أنها أحيانًا ما تعتقد بأن لها أصلا ملاحيًّا (فقد تعني كلمة (bow) مقدمة السفينة إذا نُطِقت «باو» وليس «بو»)، فينطقونها «باوسانز» (ونحن نوجه كلامنا إلىٰ فريق عمل برنامج (Breakfast) علىٰ قناة (ABC News24)).. ويبدو أن الاعلام لم يتطرق من قبل لتسمية نظير البوزون (وهو الفرميون) علىٰ اسم عالم إيطالي يُدعىٰ إنريكو فيرمي.

(٢) لا شك في أنه بوسعنا استخدام العديد من الامثلة المستوحاة من الطبيعة لتوضيح تلك النقطة، كمنحدر مزدحم، أو أسود يتصارعون للحصول علىٰ حقوق التزاوج بعزَّة، بيد أنه من المفيد أن نتذكر أننا نحن البشر لسنا بمنأىٰ عن أبناء عمومتنا من الحيوانات.

وأشهر الفرميونات في حياتنا اليومية هو الإلكترون، ولهذا الحد المفروض علىٰ تعبئته أثر بالغ في عالمنا، مما يحدد موضوع الكيمياء بشكل كبير. وهذا هو مبدأ استبعاد باولي الشهير لدىٰ التفاعلات.

وباستحضار فزيائك الذرية، تعرف أن الإلكترونات تعيش في مستويات طاقة معينة حول الذرات، حيث يوجد إلكترونان في أدنىٰ مستويات الطاقة لدىٰ الذرة، ما يُعرَف بالحالة الأرضية (أو القاعدية). لماذا اثنان؟ تمتلك الإلكترونات دورة كمومية تقدر بـ ٢/١، والتي يمكن أن تشير نحو الأعلىٰ أو الأسفل؛ ومن ثم، يمكن لحالة الطاقة الأدنىٰ أن يشغلها إلكترون يتجه دورانه نحو الأعلىٰ، وآخرٌ يتجه دورانه نخو الأسفل. (ووفقًا للطريقة الكلاسيكية، نقوم بتحديد اتجاه الدوران من خلال قاعدة اليد اليمنىٰ: لفَّ يدك اليمنىٰ حول الجسم الدائر، مشيرًا بأصابعك في اتجاه الدوران. ثم اجعل إبهامك لأعلىٰ؛ فيكون اتجاهه هو نفس اتجاه الدوران). وبالنظر إلىٰ خواص تعبئة الإلكترونات، فإن هذا المستوىٰ الأدنىٰ للذرة قد امتلأ، ولا بد من انتقال أية إلكترونات إضافية إلىٰ مستويات أعلىٰ. وعند امتلاء تلك المستويات العليا، تنتقل الإلكترونات الجديدة إلىٰ مستويات أعلىٰ وأعلىٰ من الطاقة.

ما العلاقة بين هذا والكيمياء؟ حسنًا، إن الكيمياء عبارة عن كيفية تفاعل الذرات، وهذا كله يتوقف علىٰ مواقع الإلكترونات التي في مستويات الطاقة الخارجية: فهي الإلكترونات الأقل ارتباطًا، وهي التي يمكنها المقايضة بين الذرات للسماح لها بالارتباط وتكوين جزيئات معقدة. حيث إن تلك الإلكترونات وخواص دورانها ومداراتها هي التي تمنح الذرات خصائصها.

وينطبق الأمر نفسه علىٰ أنوية الذرات. حيث إن البروتونات والنيوترونات -التي هي فرميونات- لا يمكن وجودها سوىٰ في مستويات طاقة محددة خاصة بتعبئة النواة وفقًا لمبدأ استبعاد باولي. وهذا يفسر السبب في أنه بينما تضمحل النيوترونات المنعزلة بسرعة، إلا أن النيوترونات التي بداخل نواة الذرة مستقرة إلىٰ حدٍّ بعيد. فليس من الممكن اضمحلالها نظرًا لعدم وجود مواقع أدنىٰ للطاقة متوفرة للبروتون الناتج.

ولكن ماذا لو كانت الإلكترونات بوزونات وليست فرميونات؟ ستكون النتيجة كارثية؛ لأنه لن يوجد شيء يمنع الإلكترونات من شغل أدنىٰ مستويات الطاقة الذرية، كما يمكنك تعبئة العدد الذي تريده من الفوتونات داخل الصندوق. ومرة أخرىٰ، ستُكبِّر أربعًا علىٰ الكيمياء، والتعقيد الكيميائي والمرونة التي تحتاج إليها الحياة.

ستكون تلك الإلكترونات شديدة الارتباط جدًّا بأنويتها، وتضعف رغبتها في أن تشترك فيها ذرات أخرىٰ. وسيكون هذا الكون بحرًا من الذرات المنفردة التي تسبح في الكون، غير مكترثة سوىٰ بنفسها ولا مشتركة في فوضىٰ تكوين الجزيئات تلك.

ومع ذلك، قد يتعقد الوضع أكثر من ذلك! فبالإضافة إلىٰ الإلكترونات، تُعَدُّ الكواركات أيضًا فرميونات، ولديها دوران يبلغ النصف أيضًا. ويُطبع هذا الدوران (بصورة معقدة بعض الشيء) علىٰ الجسيم الذي تُشكله. وبالرغم من أن كل من البروتون والنيوترون عبارة عن أجسام مركبة، إلا أن لديها دورة تبلغ النصف، ما يجعلها فرميونات أيضًا، ويضمن انصياعها لقواعد تعبئة الفرميونات.

وهذا يعني أنه يتم ترتيب البروتونات والنيوترونات الذرية في مدارات تشبه تلك التي للإلكترونات الأبعد بكثير. ولو كان للكواركات -وكذلك البروتونات والنيوترونات- دورة ذات عدد صحيح -كما للإلكترونات-؛ لم يكن ليمنعها أي شيء من الانهيار وشغل مستويات طاقة أدنىٰ. وليس انهيار كل من البروتونات النيوترونات التي في ذراتك أمرًا كارثيًّا بالضرورة، فهنالك أشياء أكثر أهمية تستدعي القلق.

صهر الحالة الصلبة

ثمة طريقة أخرىٰ من خلالها يمكن للإلكترونات أن تُحدِث تغيرات ضارة لكوننا. فحين تجتمع ذرتان أو جزيئان ويتبادلان الإلكترونات، يحدث بذلك تفاعل كيميائي. وأحيانًا لا يُسلَبُ الإلكترون، وإنما يُتشارَك؛ فبينما تتصارع الذرتان أو الجزيئان علىٰ امتلاك الإلكترون، تتكون رابطة كيميائية.

وفي المواد الصلبة، ترتبط الذرات من خلال روابط كيميائية ذات شكل شبكي ثابت. تخيل شبكة من الكرات التي تربطها أشرطة الزُّنبُرك، كتلك التي في الشكل ١٣.

حيث يمكننا كسر الشبكة عن طريق هزها بشدة. وبشكل مشابه، يمكننا صهر مادة صلبة عن طريق تسخينها. حيث تتألف الحرارة من حركات ميكروسكوبية عشوائية، واهتزاز الشكل الشبكي علىٰ نحو شديد جدًّا سوف يكسر الروابط الكيميائية التي بين الذرات. فتتحرك الذرات بشكل سريع جدًّا بحثًا عن أية رابطة مناسبة لترتبط بها لفترة طويلة، فتفقد المادة صلابتها، وتتحول إلىٰ سائل أو غاز.

شكل ١٣: نموذج بسيط لكرات وأشرطة زنبرك لشبكة جزيئية. حيث ترتبط الذرات في بنية بلورية متكررة، وتهتز كلما امتدت الروابط التي بينها أو انضغطت. كما

أن تسخين المادة الصلبة يسبب اهتزاز الذرات بشكل أسرع وفي حيز أبعد، مما يشد الروابط علىٰ نحو مجهِد. وإذا أضيفت كمية كافية من الحرارة، تنكسر الروابط وتنصهر المادة. وتعتمد نقطة انصهار الشبكة علىٰ كتل الجسيمات الأساسية وقدرة قواها الأساسية. وبتغييرهما يمكن أن يسهل كسر أشبرطة الزنبرك، أو زيادة اهتزاز الذرات بشكل عنيف، مما يصهر المواد الصلبة إلىٰ سوائل.

ثمة اهتزاز طبيعي لا يمكن تجنبه في جميع الأجسام، وهو صادر عن ميكانيكا الكوانتم. وعلىٰ عكس التسخين، فإن هذا الاهتزاز خاصية أساسية لعالم الكوانتم، مما يمنعنا من تبريد شيء ما إلىٰ درجة الصفر المطلق لأن هذا سيتطلب سكون الذرات التي في شبكتنا تمامًا. وفي كوننا، يكون هذا الاهتزاز لطيفًا نسبيًّا ولا يصهر الأجسام طالما أن الإلكترونات أخف بكثير من البروتونات. حيث إن الاهتزاز الكمومي سيجعل الإلكترونات تحدث طنينًا حول الأنوية، بيد أنها خفيفة جدًّا (أخف ١٨٣٦.١٥ مرة من البروتون) ولا تستطيع إخراج الأنوية خارج الشبكة. ومن ثم، تظل المواد الصلبة صلبة طالما أن درجة الحرارة منخفضة بما يكفي.

ومع ذلك، فإذا كانت كتلة الإلكترون ضمن معامل مقداره مائة من كتلة البروتون، فسوف يدمر الاهتزاز الكمومي للإلكترونات ذلك النظام الشبكي. باختصار، لم تكن لتوجد أية مواد صلبة. لا كواكب صلبة، ولا جزيئات دنا مستقرة، ولا عظام، ولا جدران خلايا حية شبه قابلة للنفاذ، ولا أعضاء. سيتحول الأمر إلىٰ فوضىٰ عارمة، ومن المؤكد أنه لن توجد حياة تقريبًا.

مشكلة هيجز

إن لم تسمع عن بوزون هيجز، فلا بد وأنك كنت تعيش في كهف منعزل طوال الأعوام القليلة الماضية. وحتىٰ إن لم تكن فيزيائيًّا، ربما قد سمعت حديثًا عن «جسيم الإله»[1] الذي طال انتظاره، والذي بطريقة ما يزود الجسيمات الأساسية بالكتلة. حتىٰ إن مجلة التايمز كانت قد رشحت بوزون هيجز كـ «شخصية العام» المحتملة. ومن سوء الحظ أن كل جملة من جمل الترشيح الخمسة اشتملت علىٰ ما لا يقل عن خطأ فيزيائي واحد[2] ولذا سنحاول توضيح الأمور.

فبينما يُعدُّ اكتشاف بوزون هيجز نجاحًا كبيرًا في مجال فيزياء الجسيمات، إلا أنه يأتي محملًا بمشاكله الخاصة جرَّاء ضبطه الدقيق. فليست المشكلة فيما قد اكتُشِف في مسرعات الجسيمات -أعني مصادم الهادرونات الضخم- وإنما فيما لم نره بعد! وسوف يستدعي هذا شيئًا من التوضيح، لذا لنعد قليلًا إلىٰ الوراء.

لقد مهدنا بالفعل للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، الذي يصف وحدات بناء المادة والإشعاع الموجودة في الكون. وتُدعىٰ اللغة الرياضية التي يُكتَب بها

---

(١) دائمًا ما يُشير الاعلام إلىٰ بوزون هيجز بـ «جسيم الاله» بعد استخدام هذا اللقب في عنوان كتاب مدرسي شهير عام ١٩٩٣ لكل من ليون ليدارمان وديك تيريسي. وقد كان بوزون هيجز بالاساس يُدعَىٰ جسيم «لعنة الاله»؛ لانه كان من الصعب اكتشافه. وما من فيزيائي عنده احترام لذاته قد يدعو بوزون هيجز بـ «جسيم الاله» إذا كان علىٰ مسمع فيزيائي آخر، فنحن نُصاب بالحرج إذا فعل أحد القراء ذلك.

(٢) ابحث عن ترشيح بوزون هيجز المليء بالاخطاء علىٰ موقع (blogs.scientificamerican.com).

النموذج القياسي بذلك الاسم المثير علميًّا، وهو نظرية مجال الكوانتم. وقد شغل اكتشاف المعادلات الصائبة وظائف جيل من الفيزيائيين الأبطال. وأقل ما توصف به نتيجة تلك الجهود هي أنها رائعة. حيث يمكن لنظرية مجال الكوانتم أن تفتخر بتنبؤاتها التي تزيد درجة دقتها عن جزء في المليار.

ومع ذلك، فإنه في ستينات وسبعينات القرن العشرين، لم تكن الصورة قد اكتملت. فقد كان المتخصصون في فيزياء الجسيمات يستكشفون الأفكار التي علقوا عليها الآمال بأنها ستُوَحِّد قوىٰ الفيزياء، بما يُظهِر أن الكهرومغناطيسية والقوىٰ النووية الضعيفة -التي سنتناولها بمزيد من التفصيل في فصلنا التالي- في الواقع ما هي إلا تجليات مختلفة لقوة أساسية واحدة. ولكن مع ذلك، توجد القليل من النتائج غير المرغوبة لتلك المعادلات.

حيث بدا من اللازم وجود جسيم عديم الكتلة والدوران، ومشحون كهربيًّا، بيد أنه غير مرصود. وفي الواقع، سيتعين علىٰ العديد من الرموز الأساسية لفيزياء الجسيمات -أعني البوزونات العيارية **gauge bosons**- أن تكون عديمة الكتلة.

وقد حُلَّت تلك المشكلات من خلال ما يُعرَف بآلية هيجز، التي سُميت علىٰ اسم الفيزيائي الإنجليزي بيتر هيجز. وكالعادة، لم يتم هذا الاكتشاف من فراغ؛ وإنما قدم عدد من الفيزيائيين مفاتيح وتلميحات للحل النهائي. حتىٰ إن هيجز نفسه يُشير إلىٰ آلية (ABEGHHK'tH)، التي هي سُمِّيت وفقًا للحروف الأولىٰ من أسماء كل من الفيزيائيين الآتية أسماؤهم: أندرسون، وبراوت، وإنجليرت، وجورالنيك، وهاجين، وهيجز، وكيبل وتي هوفت[١].

وقد كان أحد أجزاء هذا الحل هو افتراض مجال جديد. فالمجالات أمر مركزي بالنسبة للفيزياء الحديثة. فهي -بحكم تعريفها- تضيف كمية فيزيائية (أو مجموعة من الكميات) لكل نقطة واقعة في الزمان والمكان. فيمكنك اعتبار درجة الحرارة في غرفة ما مثالًا للمجال الكمِّي (غير المتجه)؛ فهو مجال ترتبط كل

---

(١) نوصي بشدة بفصل (historical account) من كتاب ((The Infinity Puzzle (2011) لفرانك كلوز، وذلك لشرحه الواضح للفيزياء وتحليله البارع في عزو كل اكتشاف لمكتشِفه.

نقطة فيه بقيمة منفردة. بينما تصف المجالات المتجهة الأكثر تعقيدًا المجالات المغناطيسية والكهربية؛ حيث تجعل لكل نقطة في المكان والزمان قيمة واتجاهًا. بيد أن الظواهر الفيزيائية الأكثر تعقيدًا يتم وصفها من خلال أنواع المجالات الأكثر تعقيدًا.

حيث تحصل جسيمات النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات علىٰ كتلتها من خلال تفاعلها مع مجال هيجز. وتحديدًا، فإن الجسيمات الأساسية تحصل علىٰ كتلتها الخاصة بالقصور الذاتي من مجال هيجز. تصور فيلًا علىٰ ألواح التزلج: حينئذ يكون القصور الذاتي هو الذي يجعل من الصعوبة بمكان دفعه عندما يكون واقفًا، وإيقافه عندما يكون متحركًا. فيمكنك اعتبار مجال هيجز علىٰ أنه ملء فراغ ما بالشراب. فالجسيمات التي تتفاعل مع المجال يتم إبطاؤها، وبذلك تتصرف كما لو أن لديها كتلة.

لاحظ أن آلية هيجز لا تُعطي كتلة سوىٰ للجسيمات الأساسية وحسب. أما بالنسبة للجسيمات المركبة، كالبروتونات والنيوترونات، تقوم كتل الكواركات المنفردة بتعويض نسبة ضئيلة فقط من الكتلة. ويظل الباقي في صورة طاقة تربط الكواركات معًا.

وبهذا فإن مجال هيجز مسؤول عن كتلة الجسيمات الأساسية. ومع ذلك، يمكن لهذا المجال أن يهتز؛ فتتصرف تلك الموجات كجسيمات. وهذه الجسيمات هي بوزونات هيجز، الذي كان اكتشافها أحد الإنجازات العلمية الرئيسة في السنوات الأخيرة. حيث إن بوزون هيجز أثقل ١٣٣ مرة من البروتون، حيث تبلغ كتلته نحو ١٢٥ (GeV) -وذلك بوحدات فيزياء الجسيمات أيضًا- مما يجعله عضوًا ضخمًا جدًّا ينتمي لعائلة الجسيمات.

ها قد حلَّ النجاح، وبات العلماء يرقصون في الشوارع!

ليس بهذه السرعة!

من هنا يبدأ صداع الضبط الدقيق. ففي نظرتنا للكون من خلال ميكانيكا الكوانتم، نجد أن الفضاء الخالي ليس خاليًّا بالفعل، وإنما يعج بتقلبات كمومية،

حيث تندفع بعض الجسيمات فجأة من وإلىٰ حيز الوجود. نعم، يبدو هذا كما لو أنه شيء ما نحلم به في وسط ضباب الأفيون، بيد أننا بحاجة إلىٰ إدراج تقلب الطاقة هذا علىٰ مقاييس صغيرة لكي نفسر بدقة ما نرصده داخل الكون.

فحينما نتحدث عن كتلة جسيم ما، يوجد مكونان: الأول، تلك الكتلة الفعلية أو المجردة، والثاني، ذلك التذبذب المستمر لأولئك المتسكعين. حيث لا يكتفي الجسيم بجذب نفسه وحسب، بل إنه يجذب أيضًا سحابة من التقلبات الفراغية. وعندما نقيس كتلة جسيم ما، فإننا نحصل علىٰ كتلة كل من المكونين.

أما بالنسبة للإلكترون، فبالرغم من وجود عدد غير محدود من المكونات الإضافية، إلا أنه عند إضافتها جميعًا، فإنها لا تحدث سوىٰ فرق ضئيل لإجمالي الكتلة.

ولكن بالنسبة لجسيمات هيجز، فالأمر ليس سهلًا أبدًا. فإذا ما فعلنا الشيء ذاته وأضفنا المكونات الموجودة في الفراغ، فإنها لا تقل، وعندما نضيفها جميعًا، سيتصبح كتلة بوزون هيجز التي يتعين علينا قياسها غير محدودة. فمن الواضح وجود خطأ ما.

وعندما واجه الفيزيائيون تلك الانحرافات اللانهائية، بحثوا عن مكان نستطيع فيه إيقاف إضافة كل تلك المكونات. حيث يوجد حدٌّ أقصىٰ ثابت، ألا وهو طاقة بلانك. وبما أنه ليس لدينا نظرية كمومية للجاذبية؛ فإنه لا جدوىٰ من استنتاج ما قبل طاقة بلانك (أو ما قبل كتلة بلانك كذلك). كما أن إضافة هذا الحد الفاصل يحدث انخفاضًا هائلًا في كتلة بوزون هيجز المتوقعة وذلك من اللانهاية إلىٰ نحو ١٨ ١٠ (GeV)! وبذلك تقترب -رغم أنها لا زالت بعيدة جدًّا عن- القيمة المرصودة.

وبما أن كتل الجسيمات الأساسية في النموذج القياسي مرتبطة بمجال هيجز، فإذا كانت كتلة هيجز مساوية تقريبًا لكتلة بلانك؛ فستكون جميع جسيمات

النموذج القياسي كذلك متناسبة مع بلانك[1] وكما رأينا، فإن زيادة كتل الجسيمات الأساسية ولو بمعامل قليل يُعدُّ كارثة بالنسبة للحياة، حيث إن زيادته بمقدار ١٦ ١٠ سيُسفر عن حسنًا، لا تنظر. فالأمور ليست علىٰ ما يُرام.

ولذلك يُساورنا الشك حول نسياننا شيئًا ما، وهذا المفقود عبارة عن أثر فيزيائي يمحو الكتلة الزائدة التي أضافتها التقلبات الكمومية، ويكون هذا المحو بدقة. بيد أن محو معامل مقداره ٢ لن ينقذ الموقف؛ فلا تزال كتلة هيجز المتوقعة أكبر بكثير مما قد قيس. كما أن معاملًا يبلغ مائة أو ألفًا لن يُفيد أيضًا. ولا حتىٰ مليار أو تريليون. فنحن بحاجة إلىٰ أن نعادل مكونات الفراغ بمعامل يبلغ نحو ١٦ ١٠.

بيد أن المتخصصين في فيزياء الجسيمات ذوو عزيمة ماضية، وقد بحثوا في كل مكان عن حلول ممكنة. وأفضل ما توصلوا إليه هو التناظر الفائق (supersymmetry).

وهذه الفكرة بسيطة جدًا. حيث نفترض أن لكل من أعضاء حظيرة الجسيمات أبناء عمومة فائقين من حيث التناظر، تُعرف علىٰ سبيل التلطُّف باسم «قرائن الجسيمات» (sparticles)[2] فبالنسبة لكل فريون، يكون ابن عمه من القرائن الفائقة عبارة عن بوزون، والعكس صحيح. وبالنسبة للفرميونات

---

(١) ملحوظة تقنية: ترتبط كتل الجسيمات الاساسية للنموذج القياسي بـ «قيمة التوقع الفراغي» التي هي (v). وهذا يحدد مقياس الكتلة النموذجي لتلك الجسيمات، حيث إن كتلتهم الخاصة تقريبًا عبارة عن (v) مضروبة في «معامل يوكاوا» الذي هو (Y). فعلىٰ سبيل المثال، يبلغ معامل يوكاوا للالكترون ٦.٢ × ١٠-٦. كما أن معاملات يوكاوا للكوارك العلوي والسفلي صغيرة أيضًا، مما يؤكد حقيقة أن «الكواركات العلوية والسفلية هي الخفيفة علىٰ نحوٍ سخيف»، علىٰ حد تعبير ليونارد سوسكيند (٢٠٠٥: ص١٧٦). وترتبط كتلة هيجز عن قرب بـ (v) من خلال معامل غير متجه يُسمىٰ «اقتران رباعي» والذي تبلغ قيمته ١٣ فنحن نفترض أن القيمة الكبرىٰ لكتلة هيجز ستسفر عن قيمة كبرىٰ لـ (v) وبالتالي كتل أكبر للجسيمات. ولتخطئة ذلك، لا بد وأن يكون أيٌّ من «الاقتران الرباعي» أو معاملات يوكاوا مضبوطة بدقة.

(٢) أصلها (symmetric particles) وهي الجسيمات القرينة للجسيمات العادية والتي هي فائقة في تناظرها معها (المترجم).

-كالإلكترونات (electrons) والكواركات (quarks)- يتكون اصطلاح التسمية بإضافة البادئة (s) فيصبح كل منها (selectrons) «قرائن الإكلترونات» و(squarks) «قرائن الكواركات». أما بالنسبة للبوزونات، فنضيف اللاحقة (ino-) إلىٰ أسمائها، وبذلك يُسمىٰ أبناء عمومة كل من بوزونَي (W) و(Z) بـ (Winos) و(Zinos). وهذا قد يجعل العروض التقديمية حول التناظر الفائق تبدوا غريبة جدًّا.

فما الذي يجذبنا تجاه التناظر الفائق؟ في وجود التناظر الفائق، يتم الإلغاء التام لمكونات الفراغ من الجسيمات المضافة لكتلة هيجز؛ وذلك بفعل أبناء عمها «قرائن الجسيمات». يا للروعة! وبهذا يبدوا أن التناظر الفائق سينقذ الموقف! بيد أنه ثمة عيب واحد صغير: وهو عدم وجود دليل مرصود لأي من الأقران الفائقة التناظر. البتة. صفر. لا شيء.

وهذا يعني أن الأقران الفائقة التناظر -إذا كانت موجودة- لا بد وأن تكون ضخمة جدًّا، أضخم من الطاقة المتوفرة لدىٰ مصادم الهادرونات الكبير، الذي هو أكبر مسرع جسيمات لدينا. فإذا كان بوسعنا تركيز طاقة كافية في مكان واحد، فإن معادلة أينشتاين (E = mc2) تقتضي أنه ينبغي أن نكون قادرين علىٰ خلق جسيمات ذات كتلة مكافئة. ولهذا السبب كان علينا أن نبحث طويلًا -بحثًا جادًّا- عن بوزون هيجز: والذي استلزمت كتلته الكبيرة قوة مصادم الهادرونات الكبير العالي السرعة.

ومن ثم، فلا يتصرف الكون بطريقة تناظرية فائقة فعلًا سوىٰ عند وجود طاقة كافية لصنع تلك الأقران الضخمة ذات التناظر الفائق. ولذا فإن التناظر الفائق لا يلغي المكونات المضافة لكتلة هيجز التي هي أكبر من مقياس كتلة هذا التناظر الفائق (أو طاقتها). بيد أن الفرق الهائل بين كتلة الكواركات وقرائنها، وكذلك الليبتونات وقرائنها يجعل من الصعب تصور أن مكونات الكتلة الناجمة عن التقلبات الكمومية المتنوعة ستنتهي بدقة. ولا تزال حقيقة أن بوزون هيجز خفيف جدًّا نسبيًّا تؤرق فيزياء الجسيمات الحديثة. كما يخشىٰ البعض من انقطاع الأمل في التناظر الفائق، ومن ثم الحاجة إلىٰ خطة بديلة.

وبذلك، تضعنا كتلة بوزون هيجز أمام لغز مُحيِّر. حيث تتنبأ حساباتنا الخاصة بميكانيكا الكوانتم أنه ينبغي أن تبلغ كتلته ١٠ ١٨ (GeV). بينما تستلزم الحياة قيمة لا تختلف كثيرًا عما لاحظاه؛ لكيلا تكون كتل الجسيمات الأساسية كبيرة بشكلٍ كارثي. فلا بد إذن من وجود آلية غير معلومة -حتىٰ الآن- تفصل المكونات عن الفراغ الكمومي، وتحصرها في القيمة المرصودة. وينبغي أن يتم هذا الفصل علىٰ نحو دقيق، فلا يكون كثيرًا ولا قليلًا لدرجة تزعزع استقرار باقي الجسيمات. وتبلغ دقة هذا الفصل جزءً في ١٠ ١٦. وقد يوجد حل طبيعي لهذا الفصل، ولكن يبدو أن كوننا محظوظ جدًّا لأن هذا الفصل قد نتج عن فيزياء جسيمات مستقرة. ولا تزال هذه المعضلة -التي تعرف بالمعضلة الهرمية- تقض مضجع المتخصصين في فيزياء الجسيمات.

الذيلُ يهُزُّ كلبَه

لقد نظرنا في بعض الخواص الأساسية لكوننا، وهي كتل الجسيمات الأساسية التي تكون المادة، ودوران الإلكترونات الكواركات. وقد توصلنا إلىٰ أنه لو كانت تلك الخواص مختلفة اختلافًا طفيفًا عما هي عليه؛ لم تكن فيزياء كوننا المعقدة ولا كيمياؤه لتوجد. كما أن الأكوان الأخرىٰ (التي افترضناها) لديها قدرة محدودة جدًّا علىٰ تكوين جزيئات معقدة ضرورية للحياة التي نعرفها، أو حتىٰ الحياة التي بوسعنا تصورها.

وفي حياتنا اليومية، نميل إلىٰ نسيان النهايات الصغيرة والكبيرة التي نعتمد عليها. فنحن كائنات صغيرة علىٰ سطح رفيع صلب لكوكب لا يزال منصهرًا تقريبًا، حيث تقع تحت أرجلنا كرة ساخنة من المعدن، وهي تدور عند باطن الأرض[1] كما أن باطننا مخلوق من تريليونات تريليونات الذرات، التي هي في حالة تضافر مذهلة من حيث الاستقرار والحركة، والبنية والطاقة. كما أن الذرة المنفردة صغيرة بشكل لا يُتصوَّر، غير أن بروتوناتها ونيوتروناتها أصغر. ورغم أن خواصها قد تبدوا محض شكليات في الكتب الدراسية، إلا أن الدور الذي تؤديه في كيفية عمل الكون هائل. كما تؤثر أصغر مكونات الكون تأثيرًا جذريًّا في أبنيته الأكبر، لا سيما في كيمياء الحياة.

فما يحدث في الواقع هو أن الذيل الأولي يقوم بهُزِّ الكلب الكوني!

---

(1) http://xkcd.com/913/

٣- هل بوسعك استشعار القوة؟

في الفصل السابق، نظرنا في مكونات الإنسان. وفي هذا الفصل، سننظر فيما يجعلنا أحياء. وتحديدًا، فإننا سننظر في قوىٰ الطبيعة الأساسية: تلك القواعد التي تملي علىٰ أجزائنا الأساسية كيفية تفاعلها مع بعضها، والتي تسبب الحركة والتغير. ومرة أخرىٰ، سنرىٰ ما سيحدث عندما نتلاعب بالقواعد.

سوف يتناول هذا الفصل وكذلك الفصل التالي مفهومين مختلفين إلا أنهما حتمًا متداخلين، ألا وهما: القوىٰ والطاقة. فبالنسبة للفيزيائيين المبتدئين، قد يبدو كل منهما مختلفًا تمامًا عن الآخر. فنحن نتعرض للقوىٰ في الجذب الناجم عن الجاذبية، وفي صوت الارتطام لدىٰ لعبة الركبي، وكذلك فرقعة غصن ما أسفل القدم. وعلىٰ الجانب الآخر، فإن الطاقة التي تمر عبر الأسلاك، وتُكتَسب عن طريق الغذاء، وتُبذَل علىٰ آلة الركض.

وفي الميكانيكا الكلاسيكية (التي هي فيزياء الحركة)، يمكن التطرق إلىٰ المشكلات من خلال حساب القوىٰ أو الطاقة. تأمل (كالمعتاد) كتلة تنحدر علىٰ منحدر عديم الاحتكاك: فما هي سرعته عندما يصطدم بقاع المنحدر؟ قد نتتبع القوىٰ، ونضيف كل دفعة وجذبة صغيرة. أو قد نتبع تحول مخزون طاقتها الكامنة إلىٰ حركة، مع ملاحظة أن المجموع الكلي للطاقة يظل كما هو. وسوف يؤدي كلا المسلكين إلىٰ نفس النتيجة، ولكن أحيانًا يكون حساب أحدهما أيسر من الآخر.

سوف نبدأ بدراسة القوىٰ الكونية.

القوى الأساسية

يشتمل الكون علىٰ مجموعة شديدة التنوع من الدفعات والجذبات، ولذا قد يكون من المذهل أنه -في نهاية الأمر- نجد أن أربع قوىٰ أساسية هي التي تحكم كل شيء. وفي حياتنا اليومية، نتعرض لاثنين فقط من تلك القوىٰ، وهي الجاذبية والكهرومغناطيسية. أما الاثنان الآخران فهما القوىٰ النووية القوية والقوىٰ النووية الضعيفة، ومالم تكن ذا عناية فائقة بأعماق الذرة، فلن تتعرض لها يومًا تلو الآخر.

وقد تعرفنا في الفصل السابق، علىٰ مكعبات بناء الكون الأساسية، وهي: الكواركات والليبتونات، التي هي الجانب الأيسر من جدول النموذج القياسي (الشكل ٩). بينما يورد الجانب الآخر للجدول المادة اللاصقة. وهي بوزونات القياس، التي تحمل القوىٰ.

بينما يحمل الفوتون (ϒ) القوة الكهرومغناطيسية. كما يُعتَقد أن الجاذبية يحملها جسيم جرافيتون graviton الافتراضي الذي لم يُكتَشَف بعد (G). وتحمل الجلونات gluons عديمة الكتلة القوىٰ النووية القوية، وسُميت بهذا الاسم لأنها تربط مكونات النواة ببعضها. وأخيرًا، فإن القوىٰ النووية الضعيفة هي أكثر القوىٰ الأربعة غموضًا، حيث يحملها ثلاثة جسيمات كبيرة هي: Z^0, W^+ W^- and. وهي مسؤولة عن بعض خواص الكون الغريبة.

وشأنها شأن الكهرومغناطيسية، يمكن للقوىٰ القوية أن تعمل علىٰ نطاق مسافات غير متناهية في الكبر. ومع ذلك، فإن التعادل الكهربي لجسدك وجسد صديقك يعني أن أنكما لا تتأثران بتجاذب أو تنافر (علىٰ الأقل، ليس بسبب الكهرومغناطيسية)؛ فأنت محمي من القوة الكهرومغناطيسية الهائلة فعلًا. وكذلك يمكننا اعتبار البروتونات والنيوترونات «محايدات قوية»، نظرًا لوجود القوة الفعلية للقوىٰ القوية المستشعَرَة بداخلها. ومع ذلك، فحين تقترب البروتونات والنيوترونات من بعضها بما يكفي لاستشعار كواركات كل منهما، تتسرب القوىٰ القوية بينهما؛ مما يحدث ارتباط لنواة الذرة. إلا أن القوىٰ القوية ذات نطاق قصير فعليًّا. ومن المدهش فعلًا التفكير في أن استقرار ذراتك متوقف علىٰ فائض القوىٰ القوية الفعلية.

لنلق نظرة متعمقة علىٰ تلك القوىٰ وجسيماتها

قوى فاينمان

كيف لجسيم أن «يحمل» قوة؟ القوة عبارة عن دفع وجذب، فكيف للجسيمات المشحونة -كالإلكترونات- أن تستشعر القوة الكهرومغناطيسية التي لدىٰ الفوتونات؟

توصل العديد من العلماء النوابغ إلىٰ الجواب في أواخر أربعينات القرن العشرين، إلا أن الاسم الأكثر ارتباطًا بذلك التصور النظري هو ريتشارد فاينمان Feynman. حيث كان فاينمان في صراع مع نظرية ما بسبب بول ديراك، والتي تُعرَف بنظرية الديناميكا الكهربائية الكمومية (QED). وهي نظرية طموحة تربط كلًّا من نظرية الكوانتم والنسبية والقوة الكهرومغناطيسية والإلكترون. وفي هذه النظرية، يتم تمثيل كلٍ من الكهرومغناطيسية (وفوتونها) والإلكترون باستخدام المجالات.

وفي ثلاثينات وأربعينات القرن العشرين، اشتهر عيب نظرية الديناميكا الكهربائية الكمومية. حيث كانت تقدم إجابات لا نهائية لأسئلة معقولة جدًّا بشأن النظرية مثل احتمالية العملية هذه أو تلك. وبهذا فقد كانت بشرياتها الأولية في مأزق خطير.

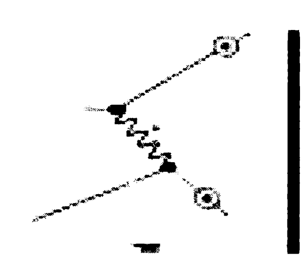
وقد كان فاينمان منزعجًا تحديدًا بسبب الإلكترون. فحينما يتعرف الطلاب علىٰ عالم الكهرومغناطيسية المعقد، يتعلمون أن الإلكترونات -باعتبارها أجسامًا مشحونة- هي مصدر للمجال الكهربائي. فيمكننا أن نتصور الإلكترون علىٰ أنه

مُحاط بالمجال الذي يخلقه. وإذا وضعنا إلكترونًا آخر في مجال الإلكترون الأول، سوف يسبب وجود المجال حدوث قوة علىٰ الشحنة الجديدة. بينما تمتلك الشحنة التي تم إدخالها توًّا مجالًا كهربائيًّا خاصًا بها يخلق قوة علىٰ الشحنة الأصلية، فلا تتفوق عليها. فينتج عن ذلك تنافر الشحنتين من بعضهما.

ثمة ملحظ دقيق قلما يناقش في الدورات التمهيدية في مجال الكهرومغناطيسية. وهو أن أي شحنة تشعر بقوة مشتركة ناتجة عن المجالات الكهربائية لجميع الشحنات المحيطة بها، بيد أنها لا تشعر بتأثير مجالها الكهربائي الذاتي. وإضافة هذا التفاعل الذاتي إلىٰ الحلول ضمن معادلاتنا يوجد لا نهايات، مما يجعل الإطار الرياضي للكهرومغناطيسية غير مجدٍ. كما تظهر المشكلة نفسها في نظرية الديناميكا الكهربائية الكمومية، مما يجعل النظرية عديمة الجدوىٰ.

وما فعله فاينمان لاحقًا هو ما يفعله الفيزيائيون العظماء، وهو ما يفتح الباب أمام فهم جديد للكون. فقد بحثنا عن طريقة جديدة جدًّا لننظر من خلالها للنظرية، بحيث تكون أكثر فيزيائية وبدهية وأقرب إلىٰ المعلومات التجريبية مع كونها متأصلة في معادلات نظرية الديناميكا الكهربائية الكمومية. وبهذا تخلص فاينمان من فكرة المجال الكلاسيكية. ورسم صورًا بدلًا من ذلك.

وقد حاول الفيزيائيون قبل فاينمان -مثل جوليان شفينجر **Julian Schwinger** وسين إتيرخ توموناجا **Sin- Itiro Tomonaga** (الذين اقتسم معهما فاينمان جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٦٥)- حاولوا حل معادلات نظرية الديناميكا الكهربائية الكمومية باستخدام منهجيات معقدة رياضيًّا. فقد تستغرق الحسابات شهورًا، بل وأعوامًا. وعلىٰ الجانب الآخر، كان فاينمان يجرب مسلكًا جديدًا لحل المعادلات التي بدت كالرسوم المتحركة. حيث يظهر الشكل ١٤ مثالًا لما يُعرَف بمخطط فاينمان. حيث يمكننا محاكاة مرور الوقت عن طريق تغطية الصورة باستخدام صفحة ورقية، ثم إزاحتها ببطء نحو اليمين. ويمثل الخطان اللذان علىٰ الجانب الأيسر الإلكترونات التي تجتمع وتتبادل فوتونًا -خطًا متعرجًا- وتنفصل.



شكل ١٤: مخطط فاينمان للقوة الكهرومغناطيسية. وعلىٰ عكس الكهرومغناطيسية الكلاسيكية -حيث تنتقل القوة عن طريق مجال شامل- تسري القوة في تصور فاينمان عبر تبادل أحد جسيمات القوة، وهو في هذه الحالة: الفوتون.

قد تتساءل: كيف لجسيم أساسي أن يُصدر -أو حتىٰ يتحول إلىٰ- جسيم أساسي مختلف؟ ألا يعني هذا أنه كان مكونًا من أجزاء أو قطع أخرىٰ؟ علىٰ سبيل المثال، كيف لإلكترون أن يصدر فوتونًا، إن لم يكن لديه فوتونًا بالفعل؟ الإجابة هي أن المادة الأساسية لفيزياء الجسيمات هي المجالات الكمومية، التي تتذبذب وتتموج وتملأ الكون. وحينما يتموج مجال كمومي بطريقة معينة، يتصرف مثل جسيم -أو مضاد جسيم- أو مجموعة من الجسيمات. ثمة طريقة واحدة يمكن من خلالها إعداد المجال من دون جسيمات، بحيث يكون فراغًا. ولكن سيظل المجال موجودًا. فحين يصدر الإلكترون فوتونًا، يكون هذا معناه أن مجالين قد تفاعلا، ونتج عنهما موجة فوتون جديدة.

ومن ثم، كان وراء رسوم فاينمان المتحركة منهجًا رياضيًّا صارمًا للتعامل مع المجالات الكمومية، وقد كان هذا المنهج يقدم الإجابات الصائبة. ليس هذا وحسب، بل كان مسلك فاينمان أيضًا أسرع؛ حيث إنه -ذات مرة- أدهش فيزيائيًّا اسمه موراي سلوتنيك Murray Slotnick وذلك عندما سمع بعملية حسابية كانت قد استغرقت عامين، فأعادها بنفسه بين عشية وضحاها. ومع ذلك، فقد عانا فاينمان لكي تُحمَل تصوراته علىٰ محمل الجد -بل وحتىٰ لكي تُفهَم أصلًا- إلىٰ أن أثبت فريمان دايسون Freeman Dyson في عام ١٩٤٩ أن منهجيات فاينمان

وشفينجر وتوموناجا متكافئة. وقد أصبحت أفكار فاينمان الآن عنصرًا أساسيًّا للفيزياء الحديثة[1]

فبالنسبة لفاينمان، كيف تعمل القوىٰ؟ لنعد إلىٰ الشكل ١٤، حيث يقترب إلكترونان من بعضهم وجهًا لوجه. ففي التصور الكلاسيكي، تُحاط الإلكترونات بمجالاتها الكهرومغناطيسية، ويتأثر كل منهما بالآخر من خلال هذا المجال. وكلما اقتربوا؛ اشتد المجال -ومن ثم القوة- أكثر فأكثر، إلىٰ أن تتوقف الإلكترونات وترتد.

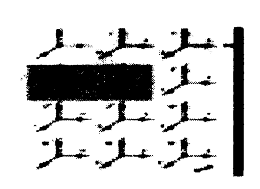
فالأمر مختلف تمامًا في تصور فاينمان. فعند إقبال الإلكترونات علىٰ بعضها، تنص قواعد الكوانتم علىٰ أنه ثمة فرصة متزايدة في إصدار أحد الإلكترونات فوتونًا يمتصه الإلكترون الآخر. وعندما يحدث ذلك، تُغيِّر الإلكترونات مساراتها.

وكلما اقتربت الإلكترونات وارتدت، تشارك مجموعة كبيرة من الفوتونات. وبالنسبة لنا، تبدوا مسارات الجسيمات سلسة، ولكن بشكل مفصل، تتخذ الجسيمات شكل منعطف من خلال سلسلة من الحركات المفاجئة.

بإمكاننا الآن عرض القوىٰ الأربعة بشكل مناسب من خلال رؤوس فاينمان Feynman vertices حيث تلتقي خطوط المادة بحاملات القوة (شكل ١٥). فنحن نشيد تاريخ الجسيمات الكونية من خلال تلك الرؤوس. وقد رأينا بالفعل مثالًا للقوة الكهرومغناطيسية أثناء عملها، حيث يمكن لجسيم مشحون أن يُصدر فوتونًا أو يمتصه. وتشمل القوىٰ القوية انبعاث غلوون أو امتصاصه، فهي إلىٰ حد ما تشبه الرؤوس الكهرومغناطيسية، غير أننا نرسم زنبركًا للإشارة إلىٰ الغلوون، وهو لا يربط الليبتونات. وبالنسبة للأشياء المعقدة فقط، يمكن للغلوونات أن تتفاعل أيضًا مع غلوونات.

---

(١) كما ورد في الفصل السابق، فإن كتاب (The Infinity Puzzle) لفرانك كلوز يشرح كل هذه الفيزياء وتاريخها علىٰ نحو رائع.



شكل ١٥: مخطط لرؤوس فاينمان. حيث تظهر الاثنا عشر مجموعة بعض الطرق التي تتفاعل من خلالها جسيمات النموذج القياسي مع بعضها. فالصورة التي على الأعلىٰ جهة اليسار عبارة عن رأس أساسي، مكون من فرميون (خطوط داكنة) تتفاعل مع بوزون (خطوط متعرجة). حيث تربط التفاعلات الكهرومغناطيسية (EM) الجسيمات المشحونة -كالكواركات والإلكترونات- التي تتفاعل عبر الفوتونات (ϒ). وتحدث التفاعلات القوية بين الكواركات والغلوونات، بل وحتىٰ بين الغلوونات وبعضها. حيث يتفاعل (Z^0) الخاص بالتفاعل الضعيف مع جميع الفرميونات بما فيهم النيوترينو غير المشحون (ν)، إلا أن ($W^{\pm}$) أكثر مرحًا بكثير، فهي تغير الإلكترون إلىٰ نيوترينو، أو شحنة الكوارك من +٢/٣ إلىٰ -١/٣ (والعكس).

وكذلك فإن جسيم (Z^0) يتنافر ويتجاذب. وبوسع الرأس (W) فعل المزيد، فهو يحول الجسيمات التي يشارك معها رأسًا. فيتحول الإلكترون أو الميون أو التايون إلىٰ نيوترينو، أو العكس. وتنقلب كواركات النوع العلوي (العلوية والساحرة والقمِّيَّة) مع كواركات النوع السفلي (السفلية والغريبة والقاعية). ولتعقيد آخر، تتفاعل حاملات القوىٰ الضعيفة مع بعضها.

ويعتقد أكثر الفيزيائيين أنه بوسعنا مدُّ هذه الصورة لتشمل الجاذبية، حيث إن قوة الجاذبية تنتقل من خلال الجرافيتون. ومع ذلك، فإن رفض الجاذبية للتجاوب مع القوىٰ الكونية الأخرىٰ يمثل عائقًا رئيسيًّا في الفيزياء الحديثة، كما سنرىٰ.

اقترانات فاينمان

في الفصل الافتتاحي لهذا الكتاب، تحدثنا عن ثوابت الاقتران، وهي تلك المقادير التي تحدد مدىٰ شدة قوة ما. ففي نظرية الجاذبية لنيوتن، يمنح الثابت (G) القوة التي بين كتلتين مسافة فاصلة محددة. وفي نظرية الجاذبية لأينشتاين، تخبرنا (G) بشدة تأثير المادة والطاقة في انحناء الزمكان. كما أن لدىٰ القوىٰ الأساسية الأخرىٰ أيضًا ثوابت اقتران coupling constants(١) فما هو محل تلك الثوابت من تصور القوىٰ الذي قدمه فاينمان؟

تحكم قوانين ميكانيكا الكوانتم عمليات فاينمان، وهذه القوانين احتمالية. وتخبرنا ثوابت الاقتران عن احتمالية تبادل أحد جسيمات القوة. إليك هذا المثال.

لننظر في الكواركين العلويين داخل البروتون. كلاهما مشحونان بشحنة موجبة، ولذا فمن خلال قوانين الكهرومغناطيسية، نعلم أنهما سيتنافران. ولكن علىٰ عكس الإلكترونات التي درسناها في الشكل ١٤، فإن الكواركات تستشعر القوة القوية أيضًا، مما يجذبهم تجاه بعضهم (الشكل ١٦). وفي غضون برهة من الزمن، أيهما أكثر احتمالًا: تبادل فوتون كهرومغناطيسي يجعل الكواركين يتنافران، أم تبادل غلوون يجذبها؟

---

(١) في الواقع، يمكن اعتبار ثوابت الاقتران علىٰ أنها معتمدة علىٰ طاقة التفاعل الحادث بين الجسيمات. فحين نتحدث عن تغير الثابت، نعني بذلك قيمته عند طاقة معينة.

وهذا يعتمد تقريبًا علىٰ نسبة ثوابت اقتران القوىٰ القوية والكهرومغناطيسية. حيث إن ثابت اقتران القوىٰ القوية هو $(\alpha S \approx 1)$، بينما ثابت اقتران الكهرومغناطيسية -المعروف بثابت البناء الدقيق- هو $(\alpha \approx 1/137)$. والشيء المهم من الناحية العملية هو مربع النسبة، فإن حدوث تبادل لغلوون قوىٰ قوية جذابة أكثر احتمالًا ٢٠ ألف مرة من تبادل فوتون كهرومغناطيسي تنافري. وهذا يعني أنه عند دفن القوىٰ القوية داخل البروتون، فإنها تسود، بينما تؤدي القوة الكهرومغناطيسية دورًا هامشيًّا.



شكل ١٦: القوىٰ القوية التجاذبية والقوىٰ الكهرومغناطيسية التنافرية الخاصة بالكواركات العلوية داخل البروتون أو النيوترون، عند تبادل الغلوونات والفوتونات كل علىٰ حده. ونظرًا لأن معدل تبادل الغلوونات في الثانية أكبر بكثير من معدل الفوتونات؛ تظل الكواركات مرتبطة ببعضها داخل البروتونات والنيوترونات، سائدة علىٰ القوة الكهرومغناطيسية.

وكما ذكرنا، فإنه ما من شيء في الفيزياء الحديثة يخبرنا عن سبب حصول ثوابت الاقتران علىٰ تلك القيم التي لديها. فليس لدينا أية نظرية أساسية تتنبأ بها، وأقصىٰ ما يمكننا فعله هو تحديد قيم تلك الثوابت تجريبيًّا. وسوف يتضح لنا أنه لو كان الكون قد نشأ بقيم مختلفة لتلك الثوابت الأساسية؛ لكانت الأمور مختلفة تمامًا عما هي عليه!

التفاعلات الكيميائية

لقد رأينا بالفعل عددًا من الطرق المتنوعة لجعل الكيمياء أبسط بكثير، أبسط من أن تسمح بالحياة. كما يمكننا جعلها أعقد بكثير أيضًا.

وقد حاول الخيميائيون القدماء ancient alchemists تحويل المعادن الأساسية إلىٰ أخرىٰ نفيسة. حتىٰ إن العالم الكبير إسحاق نيوتن اشتهر عنه انشغاله بهذا الخلط الغريب للمواد الكيميائية والقدور والسحر. بينما أرسىٰ القدماء أساس الكيمياء الحديثة من خلال التجربة الحثيثة الخاضعة للمراقبة والسيطرة، حيث أنتجوا -خلال مسيرتهم- سبائك وأحماض وأصباغ وعناصر أولية كالزرنيخ والفوسفور والزنك، إلا أنهم فشلوا في صنع ذهب من الرصاص. ونحن الآن نعرف السبب.

فالرصاص والذهب عبارة عن عناصر أولية. وتنشأ الاختلافات بينهم نتيجة للمكونات المختلفة لأنوية ذراتهم. ففي مركز ذرة الذهب، توجد نواة محتوية علىٰ ٧٩ بروتونًا ونحو ١١٨ نيوترونًا. وفي مركز ذرة الرصاص، ثمة ٨٢ بروتونًا ونحو ١٢٦ نيوترونًا. ولذلك، إذا استطعنا فقط الوصول إلىٰ نواة الرصاص وانتزاع ثلاثة بروتونات وثمانية نيوترونات، حينئذ يكون الذهب!

إليك السبب الذي أدىٰ إلىٰ فشل الخيميائيين. فعندما تشعل نارًا، أو تخلط بعض الجرعات في قدر ما، فأنت بذلك تحدث تفاعلات كيميائية. والتفاعل الكيميائي -بحكم تعريفه- عبارة عن إعادة ترتيب للإلكترونات التي تدور حول

الأنوية. ومن حيث الكتلة، فإن محاولة الإلكترون إحداث اضطراب لنواة الذرة هي بمثابة محاولة دجاجة دفع فرس النهر.

ولكن، افترض أن الدجاجة -أي الإلكترون- تتحرك بسرعة جدًّا. ربما إذا أشعلنا نارًا حارَّة جدًّا؛ سوف ترسل إلكترونًا بسرعة شديدة جدًّا نحو النواة لدرجة أنه قد يحرك بعضًا من البروتونات والنيوترونات. وحينئذ تنشأ مشكلة أخرىٰ. وهي أن جسيمات الأنوية ليست أثقل وحسب، ولكنها أيضًا ممسوكة بفعل القوىٰ النووية القوية. والطاقة اللازمة لكسر رابطة القوىٰ النووية القوية لدىٰ نواة ما أكبر بنحو ٢٠ ألف مرة من رابطة كهرومغناطيسية. يُضاف إلىٰ ذلك حقيقة أن البروتون أثقل بما يربو علىٰ الألف مرة من الإلكترون؛ ومن ثم فإن التفاعلات الكيميائية قاصرة لملايين المرات عن إحداث اضطراب لدىٰ النواة نظرًا للطاقة. فمهما أودقت من نيران، ومهما قلَّبت من قدور، لن تحول الرصاص إلىٰ ذهب.

ولكن ماذا لو غيرنا القواعد؟

من خلال إجراء بعض التعديلات علىٰ المعاملات الحرة لدىٰ النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، استطعنا صنع كون لم يكن فيه فجوة بين الطاقة الكيميائية والنووية. فإذا تركت كعكتك داخل الفرن لفترة طويلة جدًّا، قد تحصل علىٰ كعكة محترقة، أو ربما قطعة من الرصاص.

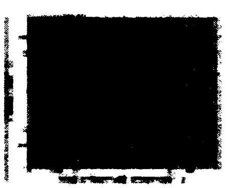
وقد أسفر عبثنا السابق بالكيمياء عن كون أبسط بكثير. وفي المقابل، فإن محو التفاوت الذي بين الطاقة الكيميائية والنووية يجعل الكون أعقد بكثير. ومن المحتمل أن يكون الكون أكثرَ فوضوية وأكثر اضطرابًا من أن توجد الحياة.

فالحياة بحاجة إلىٰ اتزان الاستقرار والحركة. فنحن بحاجة إلىٰ أن تنبض قلوبنا -لا أن تسكن (فتكون مستقرة أكثر من اللازم) ولا أن تنبض علىٰ نحو عشوائي متقطع (فتكون فوضوية بشكل مفرط). فلا يسعنا أن نمكث من دون أن نفعل شيئًا؛ وإلا سنموت، ونضمحل، وتأكلنا أشكال الحياة الأخرىٰ التي لا تمكث في مكانها وحسب. كما أننا بحاجة إلىٰ ثبات المعلومات التي في الدنا الخاص بنا؛ لكي تتبع الخلايا الجديدة نسق خلايانا الحالية نفسه.

ففي كون ليس لديه تفاوت بين الطاقة الكيميائية النووية، لن يكون بوسع الحياة الاعتماد علىٰ خواص كيميائية مستقرة قابلة للتنبؤ. حيث سيظل الأكسجين مصدرًا للطاقة الكيميائية المفيدة للحياة، ولكن إذا اصطدمت بعض ذرات الأكسجين بشدة مفرطة بجدران رئتيك؛ يمكن للتفاعل النووي الناتج أن يملأ رئتيك بالأرغون (غير المفيد)، أو الزرنيخ (السام).

حيث سيزداد تعقيد جميع شبكات التفاعل العضوي -التي هي معقدة أساسًا علىٰ نحو مذهل في كوننا هذا- بفعل عشرات التفاعلات النووية المتاحة، والتي سيحول كل منها الخواص الكيميائية لمكونات جسدك بشكل جذري. وستكون حماية الدنا من التدخل الخارجي أصعب بكثير إذا لم يكن بوسعنا الاعتماد علىٰ الخواص الكيميائية التي تكون الشريط نفسه.

ومع ذلك، فنظرًا لهذه الزيادة المفرطة في التعقيد، فإنه يصعب التنبؤ تحديدًا بما قد يحدث في كون كهذا. فقد تعثر الحياة علىٰ سبيل ما، عن طريق نسجها المعقد لكل من التفاعلات الكيميائية والنووية لإنتاج منظومات حية علىٰ عكس كل ما يمكننا تصوره[1] وبصرف النظر عن ذلك، فإن هذه الحالة توضح بعض مخاطر التعقيد المفرط للمنظومات الحية، التي تعتمد علىٰ التخزين التام للمعلومات واستنساخها (الشكل ١٧)



شكل ١٧ : الضبط الدقيق للقوىٰ الكهرومغناطيسية والقوية. حيث إن تحفيز تلك القوىٰ ضد بعضها له تأثير بالغ في الكون، بالنظر إلىٰ منطقة الاستقرار غير الملحوظة تقريبًا بالقرب من النقطة السوداء التي ترمز لكوننا (بحسب (Tegmark1998)).

---

(١) لاحظ أن التطور -قطعًا- لن يفيد. فالامر بحاجة إلىٰ شكل حياتي ذاتي الاستنساخ للبدء به. فإذا انحلت جميع الخلايا البدائية في تسلسل من التفاعلات النووية، لن يكون لدىٰ الانتخاب الطبيعي ما ينتخبه.

الاصطناع النووي خلال الانفجار الكبير

بالنظر إلىٰ أهمية الكمياء[١]، لا بد وأن نسأل: من أين تأتي العناصر المختلفة المحيطة بنا؟ فعلىٰ مدار القرن الماضي تقريبًا، توصلنا إلىٰ أن العناصر الأولية في كوننا هذا لها منشآن. المنشأ الأول هو الانفجار الكبير، والذي أنشأ العناصر الخفيفة في الدقائق الأولىٰ المعدودة من عمر الكون. والمنشأ الثاني هو النجوم، حيث تجتمع الأفران النووية بفعل جاذبيتها. وفي كل منهما، يعكس الخليط الناتج من العناصر معركة بين جميع القوىٰ الموجودة في الطبيعة. ولنبدأ من خلال إلقاء نظرة علىٰ الكون.

سوف نناقش نظرية الانفجار الكبير بمزيد من التفصيل في الفصل الخامس، بيد أننا سنركز هنا علىٰ أفرانها النووية. فكنظرية فيزيائية، تنبؤنا نظرية الانفجار الكبير بحالة الكون فيما بين ثوانٍ ودقائق معدودة من نشأته. ففي هذه الفترة كانت درجة الحرارة مناسبة تمامًا لبناء أنوية من البروتونات والنيوترونات. حيث أعدَّ هذا الفرن الكوني ٧٥% هيدروجين (بحسب الكتلة) و٢٥% هيليوم، ورذاذ الديوتيريوم والليثيوم والبريليوم، بما يتفق إلىٰ حد كبير مع الكون الذي نراه حولنا[٢]

(١) بالنسبة إلينا كفيزيائيين، كان من الصعب علينا كتابة ذلك.

(٢) قلنا «إلىٰ حد كبير» لانه بالرغم من أنها تتنبأ بشكل صحيح بكثرة الهيليوم-٤ والهيليوم-٣ والديوتيريوم، إلا أن التنبؤ بالليثيوم قد جانب الصواب قليلا. وقد قرر علماء الكونيات -الذين يفكرون طويلا وبجد في هذه المشكلة- تسميتها «مشكلة الليثيوم».

تشترك جميع القوىٰ الأساسية الأربعة في تحديد مقدار إنتاج كل عنصر. وذلك علىٰ النحو المبين أدناه.

تمثل القوىٰ القوية المادة اللاصقة للنواة، وهي بذلك مشتركة بشكل واضح. وتمثل الكهرومغناطيسية جزءً مما يجعل اندماج نواتين صعبًا جدًّا. فالأنوية مشحونة بشحنة موجبة؛ ولذلك تتنافر. فإذا كانت تتحرك ببطء شديد، ستتنافر قبل أن تسنح الفرصة للقوىٰ القوية (ذات المدىٰ القصير) أن تتمسك. فنحن بحاجة إلىٰ أنوية تتحرك بسرعة شديدة جدًّا لكي تقترب بما يكفي حتىٰ تصل القوىٰ القوية وتتمسك. بمعنىٰ آخر، نحن بحاجة إلىٰ الحرارة. ولكن ليس حرارة مفرطة. فالقوىٰ القوية ليست غير متناهية في القوة، حيث إن اصطدامًا قويًّا بما يكفي كفيل بتمزيق النواة.

كما أن القوىٰ الضعيفة ذات تأثير حاسم أيضًا. فليس بوسعنا صنع أنوية من البروتونات وحدها، بل إننا بحاجة للنيوترونات. ومع ذلك، فإن النيوترونات غير مستقرة وسوف تنهار في غضون ١٥ دقيقة، ولذلك فنحن بحاجة إلىٰ امداد جديد يتم تصنيعه وربطه بالأنوية في هذا الإطار الزمني. وبفضل القوىٰ الضعيفة، وقدرتها الفريدة علىٰ تحويل الكواركات العلوية إلىٰ سفلية والعكس، فطالما أن الكون ساخن وكثيف بما يكفي، سوف تُبقِي التفاعلات التي من جنس «بروتون + إلكترون ← نيوترون + نيوترينو» مخزون النيوترونات كما هو. وبهذا يمكن للتفاعلات النووية أن تستمر وفق نسق منتظم، فتبني الديوتيريوم (بروتون + نيوترون) ثم الهيليوم -٣ (ديوتيريوم + بروتون إضافي) والهيليوم -٤ (الهيليوم -٣ + نيوترون آخر)[١]

وكما رأينا، فإن تلك العمليات تعتمد علىٰ درجة حرارة الكون. كما أن تمدد الكون وتبريده محكوم بقوة الجاذبية. وعلىٰ وجه التحديد، فإن الجاذبية

---

(١) ثمة تفاعلات نووية كثيرة تحدث في غضون تلك الدقائق الحافلة التي يمر بها الكون، ويمكن للقارئ المهتم أن يتلاعب بأهم ٨٧ تفاعلا عن طريق استخدام الشفرة الحاسوبية ( ) والتي يمكن تحميلها عبر (superiso.in2p3. fr/relic/alterbbn/).

تحدد قدر الزمن المنقضي بين وقت برودة الكون بشدة لصنع مزيد من النيوترونات ووقت ارتباط النيوترونات داخل الأنوية. فإذا كان هذا الوقت أكثر من ١٥ دقيقة، فسوف يحدث استنزاف لمخزون النيوترون.

فينبغي ألا يكون من المدهش إذن أن تغير القوىٰ الأساسية يمكن أن يؤثر جذريًّا في التفاعلات النووية لدىٰ المراحل الأولية من عمر الكون. كما أن بعض تلك الآثار ليست سيئة بالضرورة بالنسبة للحياة. فعلىٰ سبيل المثال، إذا لم يكن ثمة تفاعلات مطلقًا في المراحل الأولية للكون، فلن يتبقىٰ شيء سوىٰ محض هيدروجين (تذكَّر أن نواة الهيدروجين عبارة عن مجرد بروتون مفرد). لكن الأمر ليس بهذا السوء، فلا يزال لدينا مجرات ونجوم، وطالما أن النجوم لا تزال تعمل، فسوف تُصنع العناصر الأثقل هناك. بيد أنه من المثير أننا سنفتقد دليلًا حاسمًا علىٰ نظرية الانفجار الكبير.

وعلىٰ الجانب الآخر، فإن جعل التفاعلات النووية ذات كفاءة مفرطة أمر سيء. فسوف يحترق الهيدروجين كله في مرحلة مبكرة من مراحل الكون. ولن يتبقىٰ منه شيء لإمداد النجوم بالطاقة، ومن ثم ستستهلك نجومنا وقودًا أقل كفاءة مثل الهيليوم. ومالم يعثر الكون علىٰ طريقة لصنع نظائر أخرىٰ للهيدروجين كالديوتيريوم (الذي هو عبارة عن نواة ذات بروتون ونيوترون) أو تريتيوم (الذي هو عبارة عن بروتون ونيوترونين)، فلن يشتمل الكون علىٰ ماء أو أي جزي مبني علىٰ أساس الكربون الذي يتضمن الهيدروجين، الذي يمثل الأغلبية العظمىٰ لمركبات الكربون[١]

كم ستتطلب خواص الكون من التغير لكي تمنحنا كونًا من الهيليوم؟ خذ زيادة شدة القوة القوية بعين الاعتبار، لكي يصبح الفرن الكوني أكثر كفاءة. حيث يمكن للأنوية أن تتماسك في ظروف أكثر حرارة، وبذلك تتشكل في وقت مبكر من تاريخ الكون حيث يوجد نيوترونات أكثر. فإن كوننا يحرق ٢٥٪ من

---

(١) من بين الاربعة وعشرين مليون مركبًا كربونيًّا الواردة في قاعدة بيانات (chemspider.com)، فإن أقل من ثمانية آلاف (٠٣ ٠٪) منها لا تحتوي علىٰ هيدروجين.

الهيدروجين الذي يحتويه في الدقائق المعدودة الأولىٰ. وبذلك فإن زيادة القوة القوية بمعامل يبلغ نحو ٢ كفيل بجعل الكونَ يحرق ما يزيد عن ٩٠% من الهيدروجين الذي يحتويه[(١)]

وإذا كانت القوة الضعيفة أضعف، فمن الممكن -علىٰ عكس التوقعات- أن يكون لدينا نيوترونات أكثر. ففي مرحلة مبكرة جدًّا من مراحل الكون -حينما كانت توجد وفرة من الطاقة- تكون قابلية التفاعلات الضعيفة لصنع البروتون الأخف مماثلة لقابليتها صنع النيوترون الأثقل قليلًا. فإذا كان القوة الضعيفة أضعف مما هي عليه، فإنه في اللحظة التي تصبح فيها تلك التفاعلات غير فعالة، ويتوقف الكون عن إنتاج البروتونات والنيوترونات (فيما يُعرَف بالتجمد)، يصبح لدينا أعداد متساوية تقريبًا من كلٍّ منهما. وبهذا، عندما يصل الكون لمرحلة خلق أنوية عن طريق اقتران النيوترونات والبروتونات في نواة الهيليوم، يمكنه فعل ذلك بكفاءة عالية، مما يحجب جميع الهيدروجين (تذكر أن نواة الهيدروجين عبارة عن بروتون مفرد)[(٢)]

كما تدخل الجاذبية أيضًا في هذا الأمر كله. حيث إن التفاعلات النووية لا تتحكم بمنظم الحرارة؛ لأنها لا تضيف الكثير للجحيم الملتهب أساسًا في مراحل الكون الأولىٰ. وإنما تحدد الجاذبية سرعة تبريد الكون من خلال التحكم في تمدد الكون. كما أن للجاذبية الأقوىٰ مما هي عليه الأثر نفسه الذي تحدثه قوة ضعيفة أضعف مما هي عليه -حيث ينتهي إنتاج النيوترون علىٰ نحو أسرع، عقب إنتاج أعداد متساوية تقريبًا من النيوترونات والبروتونات. وكما في الحالة السابقة، تُحتَجز البروتونات كلها تقريبًا داخل الهيليوم.

---

(١) بحسب ماكدونالد ومولان (٢٠٠٩) في ملاحظتهم، فإن كون (G = 1.5) يتضمن أن (0. αS ≈ 2.25 αS).

(٢) ونحن نعني بقولنا: «قوة ضعيفة أضعف» أي مقياسًا ضعيفًا أكبر (أو القيمة المتوقعة لفراغ هيجز)، مع الابقاء علىٰ سائر الكتل والقوىٰ الاخرىٰ ثابتة علىٰ ما هي عليه. ولمزيد من التفصيل، ولحساب أدق لاثر تغير مقايس القوة الضعيفة وكتل الجسيمات الاساسية علىٰ الاصطناع النووي في الانفجار الكبير، انظر ((Hall, Pinner and Ruderman (2014).

والعوامل الأخرىٰ المهمة في هذا السياق هي كتل البروتون والنيوترون. فنظرًا لأن النيوترون أثقل (انظر الفصل الثاني)، ثمة استقرار للبروتون ومزيد من الوفرة. ولو كان للجسيمين كتلًا مماثلة، أو كان النيوترون أخف؛ لكان لدينا نيوترونات أكثر في مراحل الكون الأولىٰ، وبذلك نفقد الهيدروجين الذي لدينا مرة أخرة.

ثمة ثلاث معاملات تساهم في إجمالي كتلة البروتون والنيوترون. حيث توجد الطاقة الرابطة المرتبطة بالقوة القوية، وهي نفس القيمة بالنسبة لكليهما. ولو كان هذا هوا المعامل الوحيد، لكان لهما نفس الكتلة، ومن ثم، لم يكن ليوجد الهيدروجين، وهذا نبأ محزن! كما تساهم الكهرومغناطيسية أيضًا، فالبروتون عليه أن يجذب بعض الشحنة حوله، بما لها من مجال كهربي. وهذا سوف يجعل البروتون أثقل، وهذه مزيد من الأنباء المحزنة. وفي النهاية، تمتلك الكواركات كتل مختلفة. وبينما تقل عن واحد في المائة من أجمال كتلة البروتون، إلا أن الكوارك السفلي أثقل من الآخر العلوي بما يكفي لجعل النيوترون (سفلي-سفلي-علوي) أثقل من البروتون (علوي-علوي-سفلي)، وهذه أنباء سارة. ومرة أخرىٰ، تتدارك كتل الكواركات الموقف[1]

(١) إن أثر تغير الكهرومغناطيسية معقد بعض الشيء. فقد تظن أن إضعاف التنافر سيجعل الاحتراق النووي أيسر وأكثر فاعلية، بيد الاثر الكبير -في الواقع- هو في الاختلاف في كتلة النيوترون والبروتون؛ فالكهرومغناطيسية الاقوىٰ تعني بروتونات أثقل وبالتالي يتم إنتاج المزيد من النيوترونات. فينتج كون يسوده الهيليوم.

الاضمحلال والنشاط الإشعاعي، واستقرار المادة

مثلما يحدث في تصنيع العناصر عند ميلاد الكون وفي قلب النجوم، فإن استقرار المادة عبارة عن معركة دائمة بين القوىٰ.

ورغم أن الطبيعة أمدتنا باثنين وتسعين عنصرًا طبيعيًّا -بدءً بالهيدروجين وحتىٰ اليورانيوم- إلا أننا استطعنا تصنيع عناصر أثقل. وتنقضي حياتها القصيرة جدًّا في حالة غليان وتذبذب، إلىٰ أن تنكسر قبضة القوة القوية بفعل التنافر الكهرومغناطيسي للبروتونات المشحونة بشحنة موجبة، ممزقة النواة إلىٰ أجزاء أصغر. ويمتلك أضخم العناصر التي استطعنا تصنيعها حتىٰ الآن -وهو الأنون أوكتيوم- نواة تتكون من ١١٨ بروتونًا و١٧٥ نيوترونًا! وهو يمزق نفسه إلىٰ ليفرموريوم وهيليوم في غضون ٠.٨٩ ألف من الثانية. وفي المقابل، فإن نواة الليفرموريوم تلبث لحظات معدودة قبل اضمحلالها هي الأخرىٰ.

ولكن بعض العناصر الطبيعية الاثنين والتسعين ليست تامة الاستقرار أيضًا. فهي نشطة إشعاعيًّا، وتحول عنصرًا ما إلىٰ آخر، كما تحول السحالي إلىٰ جودزيلات وسكان الأرياف المتواضعين إلىٰ مسوخ هائجة تأكل اللحوم، والمراهقين المعتدلين إلىٰ أبطال وأشرار خارقين. (فنحن نشاهد العديد من الأفلام أيضًا!)

في الواقع، إن النشاط الإشعاعي عبارة عن نعمة ونقمة في آن واحد، حيث توجد أفرع كاملة من الطب متخصصة في استخدام اضمحلال ذرات النشاط

الإشعاعي للتعرف علىٰ الأورام السرطانية وقتلها. فريثما يسمح وقتك، ابحث قليلًا في كيفية عمل فحص التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني (PET) أو فحص التصوير المقطعي بالانبعاثات المنفردة للفوتونات (SPECT).

حيث إن النشاط الإشعاعي عبارة عن وحش معقد؛ فهو شامل للعديد من العمليات المختلفة. وبمفهومه الأعم، فإن النشاط الإشعاعي عبارة عن الانبعاث التلقائي للطاقة من داخل النواة. ويمكن لمنتجات الطاقة تلك أن تدمر الأنسجة الحيوية أو تضيئها.

ويمكن تصنيف أنواع مختلفة من النشاط الإشعاعي من خلال الجسيمات المنبعثة. وقد يكون أبسطها اضمحلال جاما (γ) حيث تبعث إحدىٰ الأنوية المستحثة فوتونًا ذا طاقة عالية علىٰ نحو يشبه كثيرًا انبعاث فوتونات من إلكترونات الذرة عند قفزها بين مستويات الطاقة. وعلىٰ عكس أي اضمحلال آخر، فإن انبعاث الفوتون في اضمحلال جاما لا يغير عدد البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة، ولذا لا تتغير الطبيعة الأولية للذرة.

ويحدث اضمحلال ألفا (α) عندما تنبعث نواة ذرة الهيليوم من أحد العناصر الثقيلة (حيث تحتوي تلك النواة علىٰ بروتونين ونيوترونين)، وتسمىٰ في هذه الحالة (جسيم ألفا). ومن خلال إزالة البروتونات، يحول اضمحلال ألفا عنصرًا إلىٰ آخر.

وتعتبر عملية اضمحلال ألفا معركة تدور بين القوىٰ: وهي القوة القوية ذات المدىٰ القصير -التي تربط كلًّا من البروتونات والنيوترونات داخل النواة- والتنافر الكهرومغناطيسي للبروتونات ذات الشحنة الموجبة والذي قد يمزِّق النواة.

حيث يمكننا تصور النواة علىٰ أنها تشبه باحة السجن، محتجزة جسيم ألفا بداخلها[1] حيث يمكنه التجول داخلها بحرية، وأحيانًا ما يصطدم بالجدران. وهذا الاصطدام يشبه عمل القوة القوية، فهو يمنع من الفرار.

---

(١) هذه استعارة مناسبة علىٰ نحو مدهش. انظر (Cohen (2008) للاطلاع علىٰ نموذج رياضي بسيط لاستقرار الانوية باستخدام منحنيات دوال تربيعية.

وإذا حسبنا طاقة جسيم ألفا وقارناها بالطاقة المطلوبة للقفز من أعلىٰ جدران السجن، سنستنتج أن الفرار أمر مستحيل. ومع ذلك، يمكن للجسيم أن يحتال: حيث تسمح قوانين ميكانيكا الكوانتم بإمكانية عبور الجسيم إلىٰ الخارج من دون أن تكون لديه الطاقة اللزمة للقفز من علىٰ السور.

وقد يحاول جسيم ألفا الموجود داخل النواة الفرار من محبسه تريليونات عديدة من المرات كل ثانية. وبالنسبة لنواة تضمحل ببطء، تفشل الأغلبية العظمىٰ لتلك المحاولات. ففي نواة تقليدية لليورانيوم-٢٣٨ مثلًا، سيرتطم رأس جسيم ألفا بالجدار تريليون تريليون تريليون مرة علىٰ مدار مليارات معدودة من الأعوام قبل أن ينجح في العبور إلىٰ العالم الخارجي. وبمجرد أن يجد نفسه خارج نطاق القوة القوية -الذي يمتاز بالقوة رغم قصره- يدفعه التنافر المغناطيسي سريعًا بعيدًا عن النواة.

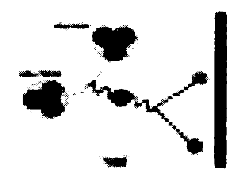
يبدو هذا العبور الكمومي كالهراء، كما لو أن المتخصصين في فيزياء الكوانتم قد اختلقوه في حفلة ما عقب إفراطهم في تناول النبيذ. بيد أنه ظاهرة حقيقية، ويتم رصدها بانتظام داخل المعمل. كما أنها تحدث في الإلكترونيات الحديثة أيضًا، فإذا عُبِّئت الأسلاك علىٰ نحو قريب جدًّا لدرجة تسمح للإلكترونات بالعبور من أحدها للآخر؛ فسوف تضطرب الإشارات الإلكترونية.

وفي النهاية، يحدث اضمحلال بيتا (β) عندما تلفظ النواة إلكترونًا، أو مضادَّه: البوزيترون. حيث إن صورة النشاط الإشعاعي هذه هي أحد تجليات القوة الضعيفة.

تذكر أن القوة الضعيفة يمكنها تحويل الجسيمات الأساسية. ففي الرؤوس (W^+) و(W^-)، يمكن تبادل الكواركات، ويمكن تبادل أحد أفراد عائلة الإلكترونات بنيوترينو. وللاطلاع علىٰ آلية عمل القوة الضعيفة، سنلقي نظرة أقرب علىٰ اضمحلال النيوترون.

قد يبدو من الغريب أن النيوترون -أحد وحدات البناء الأساسية لجميع الذرات والمسؤول عن نحو نصف كتلتك- غير مستقر. فإذا انتزعت واحدًا من

نواة ما وتركته وحيدًا لنحو دقيقة، سوف يتحول إلىٰ بروتون، ويطلق إلكترونًا ومضاد نيوترينو خلال تلك العملية. أما في داخل النواة، فمن حسن الحظ أنه يمكن للنيوترون أن يكون مستقرًا.



شكل ١٨ : اضمحلال النيوترون: أحد الأمثلة علىٰ آلية عمل القوة الضعيفة، حيث يحدث انبعاث جسيم (W^-) من النيوترون أثناء تحوله إلىٰ بروتون. ثم يضمحل جسيم (W^-) إلىٰ إلكترون ونيوترينو.

يمكننا فهم اضمحلال النيوترون في ضوء القوة الضعيفة. فكما يظهر في الشكل ١٨، يتحول أحد الكواركين السفليين الذين لدىٰ النيوترون إلىٰ كوارك علوي. وبهذا يتحول النيوترون إلىٰ بروتون، ويتم انبعاث جسيم (W^-)؛ لاحظ أن الشحنة الكلية لا تتغير. كما أن جسيم (W^-) عمره قصير، حيث يقطع مسافة قصيرة قبل اضمحلاله إلىٰ إلكترون ورفيقه الطيفي؛ وهو نيوترينو الإلكترون. وعادة ما تكون طاقة الإلكترون أكثر من أن تجعله يرتبط بفعل الكهرومغناطيسية بمدار ذري حول البروتون، وبذلك يهرب تمامًا.

وفي بعض الأنوية، تحول عمليات القوة الضعيفة تلك النيوترونات إلىٰ بروتونات، مع انبعاث إلكترون، أو حتىٰ قلب بروتون إلىٰ نيوترون، لافظة بوزيترونًا. ومع كل اضمحلال بيتا (β)، تتحول النواة من عنصر لآخر.

زيادة النشاط الإشعاعي أم نقصانه

كما رأينا، فإن النشاط الإشعاعي عبارة عن نتيجة ارتباط القوىٰ الأساسية. ففي اضمحلال جاما (γ)، تفر إحدىٰ أنوية الهيليوم من قبضة القوة القوية، بينما تعمل القوة الضعيفة في اضمحلال بيتا (β)، حيث تقلب البروتونات إلىٰ نيوترونات، والنيوترونات إلىٰ بروتونات. ويتكون إشعاع جاما من فوتونات ذات طاقة عالية، منبعثة من نواة مثارة.

ويعتمد معدل اضمحلال جاما (γ) علىٰ التوازن بين جذب القوة القوية ودفع القوة الكهرومغناطيسية داخل النواة. وما يهم بالنسبة للعبور الكمومي هو سمك جدار السجن؛ أي المسافة التي يتعين علىٰ جسيم ألفا قطعها من أجل العبور قبل أن يتغلب التنافر علىٰ التجاذب.

وبالمثل، يمكن تغير معدل انبعاث بيتا (β) من خلال تغيير شدة القوة الضعيفة، عن طريق تعديل ثابت الاقتران الذي يتحكم في احتمالية انبعاث بوزونات القوة القوية (المعيارية)، وهي (Z^0) و($W^{\pm}$).

لنتصور كيف يبدو الكون الخالي من النشاط الإشعاعي. ومن دون أن يفوتنا تصور بعض الخارقين والأشرار والوحوش، ربما يكون الكون مكانًا أكثر أمنًا. ومع ذلك، فإن إلغاء النشاط الإشعاعي يؤدي إلىٰ بعض التبعات المدهشة.

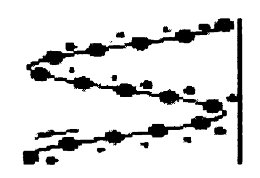
في باطن الأرض!

تبدو الأرض الصلبة صلبة تمامًا. بيد أنه من المدهش إدراك أن سطح الأرض محض قشرة رقيقة تحوي باطنًا ساخنًا من الصخور والحديد. ما مدىٰ رقته؟ تصور قشرة التفاحة، فهكذا تبدو رقته.

وتتدفق الصخور أسفل السطح -وفقًا للمعايير الزمنية الهائلة للجيولوجيا- فتجر القارات وترفع الجبال وتحرر البراكين. وتنتج طبقات الأرض الصخرية السائلة الساخنة مجالها المغناطيسي، والذي يمرر الأجسام المشحونة المتدفقة من الشمس، والتي تعرف بالرياح الشمسية، نحو القطبين المغناطيسيين الشمالي والجنوبي، محدثة الشفق القطبي الخلاب، وحامية الحياة علىٰ الأرض من هذا الإشعاع الضار.

وقد نشأت الأرض علىٰ نحو يشبه كرة صخرية ساخنة، وتم تبريدها خلال فترة وجودها التي تبلغ ٤.٥ مليار سنة. ومن دون وجود مصدر داخلي للحرارة، كان مركز الأرض سيبرد ويتجمد منذ مدة طويلة. ومع ذلك، يتم حقن الصخور بالطاقة من خلال اضمحلال النشاط الإشعاعي المستمر لعناصره، لاسيما نظائر البوتاسيوم واليورانيوم والثوريوم.

وفي يومنا هذا، يسود انبعاث ألفا (α) التدفئة الإشعاعية للأرض، عن طريق ذرات اليورانيوم والثوريوم ذات الأعمار الطويلة، بينما كان يسودها في الماضي اضمحلال بيتا (β) للبوتاسيوم. ومن الواضح أن شدة كل من القوة القوية والضعيفة سيؤثر في مجمل كمية طاقة النشاط الإشعاعي المنبعثة نحو الأرض.



شكل ١٩ : الاضمحلال الناشط إشعاعيًّا من اليورانيوم إلىٰ الرصاص والذي يستمر من خلال سلسلة من الخطوات، حيث ينبعث من كل منها إما جسيم ألفا (α) أو بيتا (β) عند كل مرحلة.

لضرب علىٰ ذلك مثلًا باضمحلال اليورانيوم. حيث إن مكون اليورانيوم الرئيس الذي يشارك في التدفئة ينتج عن النظير (^{238}U)، والذي لديه فترة عمر نصف بالغة في الطول تقدر بنحو ٥ مليار سنة. وبذلك، ثمة يورانيوم في الأرض في يومنا هذا موجود منذ نشأة الأرض. وبعد انبعاث جسيم ألفا (α)، لم يبق لنا سوىٰ نواة الثوريوم (٢٣٤ تحديدًا)، وهي أيضًا غير مستقرة وتضمحل في أقل من ٢٥ يومًا عن طريق انبعاث بيتا (β). وتستمر سلسلة اضمحلال ألفا وبيتا هذه خلال ٢٧ خطوة، عبر عناصر تتراوح فترات أعمار نصفها بين ثوانٍ ودهور، حتىٰ نصل إلىٰ الرصاص، ذي النواة المستقرة (الشكل ١٩). حيث تحقن كل خطوة من الاضمحلال طاقة في الصخور التي في باطن الأرض.

ومن دون حفظ تلك الطاقة لدفء الأرض، سوف تتجمد الأرض، وتفقد مجالها المغناطيسي الواقي. حيث إن الكواكب المجاورة -عطارد والزهرة والمريخ- لا تمتلك عمليًّا مجالًا مغناطيسيًّا ولذلك تلفحها رياح الشمس، ما يجعل العناصر التي في غلافها الجوي في حالة غليان.

ومن دون تدفئة النشاط الإشعاعي كذلك، سوف تتجمد الأرض أيضًا، ولن يكون لديها صفائح تكتونية. وللوهلة الأولىٰ، يبدو هذا تحسنًا كبيرًا، حيث إن انعدام تحرك الصفائح يجعل من النادر حدوث الزلازل والبراكين والموجات السنامية. بيد أنه توجد سلبيات خطيرة أيضًا. حيث تؤدي التقلبات والاضطرابات الناتجة عن تصادم الصفائح وكذلك ثوران البراكين، كل هذا يؤدي دورًا مهمًا في حفظ تدوير العناصر الغذائية خلال المحيط الحيوي. حيث ترجع التربة الخصبة

لدىٰ جافا واليابان وهاواي إلىٰ النشاط البركاني، كما تسببت التحركات البطيئة للقشرة الأرضية التي تنشئ سلاسل الجبال في جلب هندسة معمارية متطورة لأنحاء أمريكا الشمالية والهند وأوروبا. وفي المقابل، يفسر استقرار الصفائح التكتونية في أستراليا وقلة براكينها سبب جدب تربتها نسبيًّا؛ فهي قديمة وتم ترشيح العناصر الغذائية منها بفعل الأمطار خلال مليارات السنين[١]

كما عمل تدوير الكربون عبر القشرة الأرضية والغلاف الجوي علىٰ استقرار درجة حرارة الأرض، مما جعلها تتراوح بين درجة حرارة المحيطات المتجمدة وتأثير الاحتباس الحراري البالغ الذي يخمد كوكب الزهرة. وعلاوة علىٰ ذلك، فإن سطح الأرض المتغير يؤدي إلىٰ ظهور بيئات جديدة ومجالات إيكولوجية يُتقَد أنها مهمة لتطور الحياة المعقدة.

ومن والواضح أن النشاط الإشعاعي المفرط في باطن الأرض لن يكون جيدًّا أيضًا. فلو كان النشاط الإشعاعي قد أبقىٰ علىٰ سطح الأرض البادئ في الانصهار؛ لكانت آفاق الحياة المعقدة السابحة في بحر منصهر من الصخور محدودة جدًّا. وقد تظن أنه لا بأس في ذلك طالما أن طاقة النشاط الإشعاعي محدودة. فبعد اضمحلال معظم الأنوية، يمكن للأرض أن تبرد ثانية. ولسوء الحظ، فإن طاقة الشمس محدودة أيضًا؛ ولذا سيكون من غير المجدي نوعًا ما لسطح الأرض أن يتجمد في الوقت المناسب لكي تجتاحه الشمس، لأنها تستهلك وقودها الهيدروجيني وتتضخم لكي تصبح نجمًا عملاقًا أحمر.

(١) انظر (Diamond (2005, Chapter 13 لمزيد من التفصيل.

في وادي الاستقرار

لا تزال إحدىٰ أجزاء اللغز النووي في غير محلها: أي الأنوية مستقرة؟ يتحدد العنصر الكيميائي وفقًا لعدد البروتونات في النواة، والذي يُعرَف في هذا المجال بالعدد الذري. ثم تتحدد الخواص الكيميائية بناء علىٰ توزيع الإلكترونات التي تدور حول النواة؛ فبالنسبة لذرة متعادلة، سيكون عدد الإلكترونات بها مساويًا لعدد البروتونات. ولذا تحتوي كل ذرة رصاص علىٰ ٨٢ بروتونًا علىٰ وجه التحديد، بينما تحتوي كل ذرة نيتروجين علىٰ سبعة بروتونات.

كما تمتلك الأنوية أيضًا عددًا معينًا للنيوترونات غير المشحونة. وهي تجذب بعضها وكذلك البروتونات من خلال القوة القوية من دون إضافة تنافر كهرومغناطيسي، وبهذا تعمل علىٰ استقرار النواة. وقد يكون لدىٰ ذرتين من نفس العنصر (أي لهما نفس عدد البروتونات) عددًا مختلفًا من النيوترونات. فبالنسبة للرصاص، قد يصل أدنىٰ حد لعدد نيوترونات بعض أنويته ٩٦ أو ٩٧ أو ٩٨، وقد يبلغ أقصاه ١٣٣ نيوترونًا. ولكل من تلك النظائر المختلفة للعنصر كتلة مختلفة.

وقد رأينا أن أضخم العناصر تنفصل لتوِّها؛ نظرًا لعجز قواها الداخلية عن أمساكهم معًا ضد ارتجاف النواة المستمر وتذبذبها. حتىٰ إن العناصر الأقل ضخامة يمكن أن تتحول إلىٰ عناصر أخرىٰ من خلال النشاط الإشعاعي. ومن بين النظائر المعروفة البالغ عددها ألفين، فإن عدد النظائر المستقرة منها لا يتجاوز

ثلاثمائة. وكثيرًا ما تُراجَع تلك القائمة حين يُكتَشف نظير «مستقر» يضمحل بعد عمر طويل جدًّا.

لماذا ليس بوسعنا الاستمرار في إضافة المزيد من النيوترونات، وبناء المزيد من الأنوية الأضخم لعنصر ما؟ تذكر أن الأشياء الكمومية ليست جيدة في البقاء علىٰ حالها. حيث تهتز الأنوية وتتموج وتدور وتتشوه. فالنيوترونات عبارة عن فرميونات، وكما تذكر من الفصل الثاني أن الفرميونات المتطابقة لا تفضل الاحتشاد معًا. ولهذا السبب تحديدًا، فإن ثنائي النيوترون -وهو عبارة عن نيوترونين يحاولان الارتباط- غير مستقر، وينقسم إلىٰ نيوترونين في غضون ١٠-٢٢ ثانية. ولذا فإن وجود نيوترونات كثيرة جدًّا داخل نواة ما سيجعل بعضها ضعيف الارتباط جدًّا وسريع الفقدان.

وبالمثل، فإن إضافة القليل جدًّا من النيوترونات ليست جيدًّا أيضًا. فبينما يكون البروتون مستقرًا، لا يكون ثنائي البروتون كذلك؛ فلا يمكننا ربط بروتونين معًا. ولا تعترض تلك الفرميونات فقط علىٰ كونها في مساحة كل منها، بل إن شحناتها الموجبة تتنافر. فشأنها شأن ثنائي النيوترون، سوف تنقسم. كما أن الأنوية ذات العديد من البروتونات تكون عرضة لفقد أحدها أو القليل منها.

حتىٰ إن الأنوية التي تربط جميع بروتوناتها وإلكتروناتها ليست آمنة. فقد تكون عرضة للاضمحلال من خلال تفاعلات القوة القوية. فإذا كانت النواة محكمة الارتباط ببروتون بدلًا من نيوترون أو العكس، فسوف تحدث القوة الضعيفة ذلك، وهذا هو اضمحلال بيتا.

وبجمع كل هذا معًا، يمكننا وضع تصور لجميع النظائر التي لدىٰ كل العناصر يظهر تلك النظائر القليلة المستقرة والرقعة الأوسع غير المستقرة. وفي طريقنا خلال الجدول الدوري، علينا إضافة المزيد من النيوترونات للعمل علىٰ استقرار النواة. وتشغل الأنوية المستقرة نطاقًا ضيقًا في المنتصف، يُعرَف بوادي الاستقرار (الشكل ٢٠).

وكما رأينا، فإن وادي الاستقرار هو نتيجة التأثير المتبادل لثلاثة قوىٰ أساسية طبيعية. حيث تمسك القوة القوية بالبروتون والنيوترون معًا. ويعمل التنافر الكهرومغناطيسي علىٰ فصل البروتونات. ويمكن للقوة الضعيفة أن تحول البروتون إلىٰ نيوترون أو العكس.

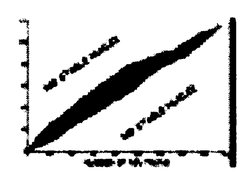
بسط وتوسيع وادي الاستقرار

من الواضح أن العبث بمقادير تلك القوىٰ الأساسية سيؤثر في بنية وادي الاستقرار. ففي كون خال من تفاعلات القوىٰ الضعيفة لن يكون به اضمحلال بيتا. وستكون النتيجة هي أن تصبح بعض النظائر غير المستقرة مستقرة، بينما يضمحل آخرون في المقابل عبر انبعاث جسيم ألفا. ومن ناحية أخرىٰ، فإن إضعاف دفع الكهرومغناطيسية سيربط المزيد من الأنوية معًا، مما يمنع هروب جسيمات ألفا.

هل ستكون تلك النظائر الإضافية المستقرة مفيدة للحياة؟ سوف يتذكر معجبو أفلام حرب ستينات القرن العشرين فيلم (Heroes of Telemark)، والذي ينطلق فيه الجسور كيرك دوجلاس في مهمة لتدمير محطة فيمورك الكهرومائية في النرويج. ولا شك في أن دوجلاس وفريقه الباسل قد نجح في ذلك، والبقية كما يقولون عبارة عن تاريخ[1]

---

(١) كما في جميع أفلام هوليوود عن الاحداث الواقعية، فإن هذا الفيلم يحوي عنصرًا من الحقيقة. حيث إن الغارة الحقيقية -التي هي منتهىٰ هجمات عديدة- والتي نفذها عام ١٩٤٣ قوات العمليات الخاصة النرويجيون، كانت مثيرة كما في الفيلم، وهي جديرة بمطالعة شيء عنها مثل
(The Real Heroes of Telemark by Ray Mears, 2003).



شكل ٢٠: وادي الاستقرار. جميع النظائر الأولية التي نعرفها، حيث تمثل بقع الظل الداكن المناطق الأكثر استقرارًا، بينما البقع الداكنة تمثل النظائر المستقرة تمامًا.

حيث كانت تلك المحطة تنتج مياهًا ثقيلة، وكنت تلك المياه ضرورية لأبحاث الأسلحة النووية الألمانية. وتحتوي جزيئات المياه الثقيلة علىٰ ذرتي ديوتيريوم بدلًا من ذرات الهيدروجين. والديوتيريوم عبارة عن نظير الهيدروجين، حيث يرافق فيه نيوترونًا ما أحد بروتونًا آخر في النواة. وهذه الكتلة الإضافية تجعل المياه الثقيلة أثقل ١٠٪ من المياه العادية، ومن هنا جاءت تسميتها بهذا الاسم.

ولم تكن الكيمياء لتتغير الكثير؛ حيث ستكون إلكترونات ذرات النظائر المتنوعة لعنصر ما متشابهة، ولكن غير متطابقة. فعلىٰ سبيل المثال، يمكننا صنع جزيئات مياه ثقيلة من خلال الهيدروجين الثقيل (الديوتيريوم). كما أن الروابط التي بين جزيئات المياه الثقيلة أشد قليلًا من تلك التي للمياه العادية، وهي -المياه الثقيلة- سيئة بالنسبة للأنظمة البيولوجية. فهي في الواقع سيئة جدًّا لدرجة أنها -رغم أن طعمها يبدو مثل المياه العادية (علىٰ الأقل بالنسبة للبشر)- إلا أنها في الواقع سامة. ففي التفاعلات الجزيئية، لا تقوم المياه الثقيلة بما تقوم به المياه العادية. وهذه مشكلة غير قاصرة علىٰ البشر وحسب، بل إنها تعم الكائنات الحية عديدة الخلية أيضًا. وهذا -علىٰ الأرجح- يعكس تكيف الحياة علىٰ الأرض مع المادة المتوفرة؛ فعلينا ألا نستنتج استحالة نشأة حياة قائمة علىٰ أساس المياه الثقيلة.

ماذا لو استطعنا نفي النشاط الإشعاعي برمته؟ في هذه اللحظة، سيكون هذا الكون علىٰ قدر عالٍ من التعقيد يتعذر معه استكشافه بالتفصيل. ولكن بوسعنا التخمين وفقًا لما لدينا من معطيات.

تأمل الكربون، الذي هو حجر الزاوية بالنسبة للحياة وفقًا لما نعرفه عنها. تحتوي كل ذرة كربون علىٰ ٦ بروتونات، ويمكن أن يكون لديها مدىٰ ما من النيوترونات. حيث إن أثقل نظائرها لديه ١٦ نيوترون، بينما لدىٰ أخفها نيوترونان فقط. وهذا يعني أن أثقل نظائر الكربون أثقل ثلاث مرات تقريبًا من النظير الأخف! وهذان الطرفان يقعان علىٰ حدود وادي الاستقرار، ويضمحل عندها النظير في أقل من ٠٠١ ٠ من الثانية. في الواقع، لا يوجد سوىٰ نظائر قليلة من الكربون مستقرة بما يكفي لكي تمثل أهمية بالنسبة للحياة، وهي تلك التي يبلغ عدد نيوتروناتها ستة أو سبعة أو ثمانية.

ومع ذلك، إذا بسطنا وادي الاستقرار، فسوف تصبح نظائر الكربون الخفيفة جدًّا والثقيلة جدًّا مستقرة. وينطبق الأمر نفسه علىٰ سائر العناصر. وستكون النتيجة هي أن الجزيئات المبنية من بحر الذرات هذا -كالأحماض الأمينية والبروتينات- قد لا تكون متطابقة كيميائيًّا. فقد يكون لديها كتلٌ وشدة روابط جزيئية وأشكال مختلفة، وبذلك وظيفة مختلفة.

هل يمكن للتفاعلات الجزيئية المعقدة التي ترتكز الحياة عليها أن تنشأ في ما يبدو فوضىٰ معقدة من النظائر؟ لا ندري. ولكن يبدو من المؤكد أن هذا يضيف عقبة أخرىٰ في طريق التطور الكيميائي؛ أي تشكل صور الحياة الأولىٰ. فهذا أمر ينبغي لمن يتأملون الضبط الدقيق أن ينعموا النظر فيه في المستقبل.

وبالطبع، كما لاحظنا، فإن محو النشاط الإشعاعي وبسط وادي الاستقرار لهما أثر مصيري في الكواكب مثل كوكب الأرض. فنحن بحاجة إلىٰ ذلك الباطن المنصهر والمجال المغناطيسي والصفائح التكتونية. يبدو أن الحياة -علىٰ الأقل تلك التي تشبه حياتنا- قد استفادت من جوانب وادي الاستقرار كونه غير مستقر!

محو الاستقرار

كما رأينا أعلاه، فإن إضافة المزيد من العناصر المستقرة إلىٰ الكون الذي نعرفه ونحبه لا يمكن التنبؤ بتبعاته. فنحن غير موقنين فعلًا بما سيحدث. ومن الأيسر بكثير أن نرىٰ الضبط الدقيق عند إزالة شيء ما مهم بالنسبة للحياة من كوننا بمنتهىٰ البساطة. فهذه خطوة محددة نحو الوراء. كما أن وادي الاستقرار هو برمته محض مثال لذلك.

من الجدير أن نحمل شريرًا خارقًا يُهدِّد بتفكيك ذراتنا وأنويتنا محمل الجد. فالعناصر الكيميائية التي لا يستمر وجودها سوىٰ للحظة هي عديمة الجدوىٰ تمامًا بالنسبة لبناء الجزيئات والخلايا والكائنات الحية، وليس من الصعب إحداث ذلك، فكل ما عليك هو خفض شدة القوة القوية بمعامل يبلغ نحو ٤، وبهذا يتلاشىٰ الجدول الدوري بدءً من الكربون وحتىٰ أعلاه. حتىٰ إنها لا تمر باضمحلال ألفا. وإنما تخضع للانشطار؛ حيث تنقسم النواة ببساطة إلىٰ شطرين. ويمكننا الوصول إلىٰ نفس الأثر من خلال زيادة شدة الكهرومغناطيسية بمعامل يبلغ ١٦. فإياك وأن تخبر محاور الشر بذلك.

وسوف تطرأ تغيرات أصغر علىٰ معظم العناصر لكونها نشيطة إشعاعيًّا، نظرًا لوجود مدىٰ لأعمارها. وهذا يسفر عن حزمة من المشكلات بالنسبة للحياة. حيث إن كل اضمحلال ألفا وبيتا يحول أحد العناصر الكيميائية إلىٰ آخر، وبهذا يغير خواصه الكيميائية تمامًا. وفي داخل الأحماض الأمينية والبروتينات والخلايا التي هي وظيفية جدًّا ومنشأة بشكل دقيق، فإن تغير غير متوقع بهذا الحجم سوف

يسفر عن دمار لا يوصف. فلا يمكن للحياة أن تتقدم إذا لم يكن بوسعها الوثوق بالكيمياء.

وعلاوة علىٰ ذلك، فإن إشعاع ألفا وبيتا وجاما يحمل سمعة سيئة وبجدارة. فقد اكتُشف النشاط الإشعاعي لأول مرة في اليورانيوم، حيث لوحظ أن العينة سوف تجعل الفيلم الفوتوغرافي داكن تدريجيًّا (عبر الأشعة السينية). ثم اكتشف ماري وبير كيوري الراديوم، والذي جلب ضجة كبيرة حول النشاط الإشعاعي بين عشية وضحاها: فقد توهجت هذه المادة في الظلام، حيث بدت كمصدر للطاقة لا ينضب. ثم بدأوا بيعها عقب ذلك في جميع أنواع المنتجات لزيادة تمثيلك الغذائي وحيويتك ورفاهيتك العامة! وقد تم الترويج للمنتجات علىٰ أنها تحوي قوة الراديوم؛ لِم لا تزور حمامات مائية من الراديوم، وتشرب بعض مياه الراديوم، وتشتري ملمع أحذية من الراديوم ونشويات من الراديوم وحتىٰ واقيات ذكرية من الراديوم! (ولحسن الحظ، يبدوا أن العديد من تلك المنتجات لم يكن بها أي راديوم فعلًا، بل كانت -لحسن الحظ- حملة ترويج زائفة.)

ولم يمض كثير من الوقت حتىٰ أدركوا أن هذه فكرة سيئة جدًّا. فقد أصدرت صحيفة وول ستريت مقالًا يحمل عنوانًا رئيسيًّا غير معتاد: «مياه الراديوم عملت علىٰ نحو ممتاز إلا ان سقط فكه!».

ونحن نعرف السبب الآن. فحين تدخل الأنوية المضمحلة اضمحلال ألفا وبيتا إلىٰ الجسد، تنبعث منها جسيمات ذات طاقة عالية داخل الخلايا. فلا توجد أمام جزيئات الحياة أية فرصة، ويُشقُّ طريق من التدمير عبر الآلات الجزيئية، وجدران الخلايا -والأكثر دمارًا- الدنا. حيث يمتلك جسيم ألفا النموذجي طاقة كافية لكسر عشرات الآلاف من الروابط الكيميائية. وبينما تمتلك خلايانا آليات ذاتية الإصلاح، ومن الضروري وجود كمية قليلة من الطفرات الجينية من أجل التطور الدارويني، فثمة حد أقصىٰ يمكن للحياة معالجته. فالكون الذي يكون فيه أي من العناصر الستة الشائعة لدىٰ جميع صور الحياة -وهي الكربون

والهيدروجين والنيتروجين والأكسجين والفسفور والكبريت- نشيطة إشعاعيًّا؛ سيكون مكانًا خطيرًا للحياة.

ولذا فإن خواص وادي الاستقرار -تلك الخواص التي حددتها المقادير النسبية للقوىٰ القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية- تبدوا متزنة بشكل مناسب لنشأة الحياة في هذا الكون. فنحن لدينا نطاق ضيق من النظائر المستقرة لتوفير الأبنية الجزيئية المتماسكة والمستقرة اللازمة لأجل الحياة، مع وجود حزمة أوسع من النظائر الأطول عمرًا -لكنها حتمًا غير مستقرة- والتي بوسعها توفير حرارة النشاط الإشعاعي داخل الكواكب التي علىٰ شاكلة كوكب الأرض. ففي أكوان ذات مقادير مختلفة لهذه القوىٰ الأساسية، تبدوا توقعات وجود الحياة -علىٰ الأقل- أكثر تعقيدًا، إن لم تكن معدومة بالمرة.

فقط قوة واحدة أقل؟

ماذا لو كنا متهورين حقًّا وأزلنا قوة أساسية من الكون بأسره؟ بوسعنا فعل ذلك عن طريق ضبط اقتران يحدد شدة القوة بقيمة تساوي صفرًا. وهذه فكرة سيئة في مجملها إذا أردت الحصول علىٰ كون صالح للحياة.

أوقف الجاذبية؛ ولن يكون ثمة شيء يحمل المادة علىٰ الانهيار إلىٰ مجرات ونجوم وكواكب وأي بناء آخر من دون شك. أوقف الكهرومغناطيسية؛ ولن يكون ثمة كيمياء، فلا يوجد ما يُبقِي علىٰ الإلكترونات مرتبطة بالأنوية. أوقف القوة القوية؛ ولن تكون ثمة أنوية، ومن ثم يتم ينتهي أمر الكيمياء ثانية. فليس لدينا خيار سوىٰ اختيار ما قد يبدو أنه القوة التي لا تتبعها عواقب. هل بوسعنا إيقاف القوة الضعيفة والنجاة بفعلتنا.

يؤدي النشاط الإشعاعي دورًا حاسمًا في توليد الحرارة في كوكب الأرض، ولكن حتىٰ لو محونا القوة الضعيفة، فسيظل لدينا اضمحلال ألفا للعناصر الذي يساهم في التدفئة القائمة علىٰ النشاط الإشعاعي. ولكن كما رأينا، فإن سلسلة اضمحلالات النشاط الإشعاعي التي تودع الطاقة في الصخور هي مزيج من

اضمحلالي ألفا وبيتا. ومن دون القوة الضعيفة، سينقص طول تلك السلاسل؛ مما يخفض الحرارة في كوكب الأرض.

وقد درس كل من روني هارنيك Roni Harnik وجراهام كريبس Graham Kribs وجيلاد بيريز Gilad Perez هذا الكون الخالي من القوة الضعيفة؛ للنظر في فرصة وجود الحياة[١] لنلق نظرة عن قرب.

يمكننا تصور إيقاف القوة الضعيفة من خلال تكثيف مجال هيجز لكي تصبح كتل جسيمات (Z^0) و($W^\pm$) كبيرة. حيث إن جميع عمليات القوىٰ الضعيفة تصنع تلك الجسيمات حتىٰ ولو بشكل عابر، ولذلك إذا كانت ضخمة جدًّا؛ فسوف يندر صنعها. وسوف تختفي القوة الضعيفة برمتها.

ولكن مهلًا إذا جعلنا شيء يحصل علىٰ كتلته من مجال هيجز ضخمًا؛ ألن يجعل هذا الكواركات والإلكترونات ضخمة أيضًا؟ ليس تمامًا. فيمكننا ببساطة اشتراط أن تقترن الجسيمات -بدافع الحظ- علىٰ نحو ضعيف جدًّا بمجال هيجز. من الواضح أن هذا يجعل الكون الخالي من القوة الضعيفة مضبوط بدقة علىٰ أي حال، ولكن لنكمل جولتنا.

فمن دون تفاعل القوة الضعيفة، ستكون النيوترونات مستقرة[٢] وستشكل جميع البروتونات والنيوترونات هيليوم، من دون ترك أدنىٰ أثر للهيدروجين. وكما ذكرنا سلفًا، فإن هذه ليست أخبار مبشرة بالنسبة للنجوم والمياه وسائر الجزيئات العضوية المعروفة تقريبًا.

مع ذلك، يمكن إنقاذ الكون الخالي من القوة الضعيفة عن طريق القليل من «الضبط الرشيد للمعاملات»، بحسب قول هارنيك وكو. فبوسعنا إملاء معدل

---

(١) (هارنيك وكريبس وبيريز (٢٠٠٦)).

(٢) في الواقع، ليس من الواضح وجود أية مادة علىٰ الاطلاق في الكون الخالي من القوة الضعيفة؛ حيث يبدو تفاعل القوة الضعيفة حاسمًا بالنسبة لصنع مادة أكثر من المادة المضادة. ومن دون هذا التباين، تكاد المادة.كلها تفنىٰ إلىٰ فوتونات في المراحل الاولىٰ جدًّا من الكون. وسوف نتناول هذا الامر ثانية في الفصل السادس.

النيوترونات والبروتونات المرغوب (من خلال معدلات الكواركات) علىٰ الظروف الأولية للكون. ونظرًا لفرط البروتونات، ينتج فائض عند دمج بروتونين ونيوترونين في الهيليوم. وبما أننا غير متأكدين من آلية إنتاج تلك الخاصية الأولية للكون؛ يمكننا بسعادة افتراض أنه بدوره قد يكون مختلفًا.

وبدلًا من ذلك، بل ربما يكون ذلك أقلًا ريبة- يمكننا زيادة عدد الفوتونات في الكون بمعامل يبلغ ١٠٠. وهذا يجعل الكون أكثر فاعلية في تحطيم الأنوية المتشكلة حديثًا، مما يدمر بعض الهيليوم الملتهم للهيدروجين.

وقد تقدم تلك الأكوان مسالك بديلة لتزويد النجوم بالوقود وصنع عناصر أثقل، مما يحتمل أن يسفر عن كيمياء أكثر تعقيدًا. ومع ذلك، ثمة أمر مقلق آخر. فحتىٰ يومنا هذا، توصلت أكثر الدراسات تفصيلًا بشأن إنتاج العناصر في النجوم والسوبرنافا إلىٰ أن إزالة القوة القوية سوف ينتج كونًا خال من الأكسجين وبالتالي خال من المياه أيضًا.

إن الكون الخالي من القوة الضعيفة كون مبتكر، كما تساعد الإفادات التي أفدناها من هارنيك وكو بشأن تشييد الكون علىٰ القراءة الترفيهية. حيث إن إزالة القوة الضعيفة يغير شكل الكون بشكل كبير، ولكنه من المدهش نوعًا ما أنه قد يكون بمثابة صدور حكم بالإعدام في حق الحياة. وبالرغم من ذلك، فإن الكون الخالي من القوة الضعيفة -كما ذكرنا- مضبوط بدقة.

ومن المثير أن سكان الكون الخالي من القوة الضعيفة قد يقضون وقتًا صعبًا جدًّا في اكتشاف فيزيائهم الأساسية. حيث إن اكتشاف فيزياء القوة الضعيفة -بما في ذلك مجال هيجز ونشأة كتل الجسيمات الأساسية- سيتطلب سبر طاقات عالية جدًّا تفوق ألف تريليون مرة أكبر مسرعات الجسيمات الموجودة لدينا (وكذلك الموجود لديهم يقينًا). ولكن حتىٰ لو تمكنوا من تحديد كيفية عمل الفيزياء، فسوف يصابون بالارتباك أكثر منا إزاء كونهم الذي يبدو محظوظًا.

هذه نهاية نقاشاتنا حول القوىٰ. وقد حان الوقت للحديث عن المبادئ الأخرىٰ التي تبث الحياة في الكون: الطاقة والإنتروبيا.

الفصل الرابع
الطاقة والإنتروبيا[1]

يعتمد الكون في عمله علىٰ الطاقة. وتأتي هذه الطاقة في صور متنوعة، كالحرارة والضوء والحركة، وحتىٰ المادة نفسها، حيث تخبرنا عنها معادلة أينشتاين الشهيرة ($E = mc^2$) بأنها إحدىٰ صور الطاقة.

يقود تدفق الطاقة عمليات حيوية لا حصر لها. ومع ذلك، لن تؤدي أي طاقة قديمة تلك الوظيفة، فالحياة بحاجة إلىٰ طاقة في صورة مفيدة. وهذا يقودنا إلىٰ أحد أهم المفاهيم وأكثرها تحديًا، وهو أكثر المفاهيم التي يُساء فهمها علىٰ نطاق واسع في علوم الفيزياء، ألا وهو: الإنتروبيا entropy.

ففي هذا الفصل، سوف نقتفي أثر تدفق الطاقة والإنتروبيا عبر عصور الكون -المراحل الكونية-. وسنرىٰ أن الكون يوشك علىٰ الانتهاء والخمود لا محالة؛ نظرًا لأن الطاقة المفيدة المتاحة في حالة نقص مستمر. وهذا يثير قلقًا بالغًا إزاء المستقبل، ويشير إلىٰ أحد أكبر الألغاز في العلم الحديث، ألا وهو: لماذا نشأ -الكون- في حالة قابلة للزوال في المقام الأول؟

وقد بحثنا في الفصل السابق القوىٰ الأساسية، وكان جل تركيزنا علىٰ القوىٰ القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية. والأمر الذي لا يمكننا إغفاله هو

---

(١) نود أن نتخيل بول ماكارتني Paul McCartney وستيفيووندر Stevie Wonder وهما يغنيان هذا.

الجاذبية. حيث أبقيناها لهذا الفصل، نظرًا لأنها تحدد التدفق الكوني للطاقة؛ فبالرغم من أنها أضعف القوىٰ، إلا أنها تؤدي دور البطل في رسم صورة الكون.

لنبدأ ببحث البشر الدؤوب عن الطاقة.

البشر بحاجة إلىٰ الطاقة!

إن البشر مهوسون بالطاقة. حتىٰ إن احتياجنا إلىٰ الطاقة قد غير سطح الأرض. فبإلقاء نظرة من الفضاء نحو جانب الأرض الذي يكتنفه الليل، يبدو سطحها مليئًا بالنقاط والتقاطعات الناتجة عن أضواء المدن والطرق السريعة التي تغطي جزءً كبيرًا من الكوكب.

كما أن أجسادنا -نحن كأفراد- بحاجة إلىٰ أن تُزوَّد بالطاقة، وهي دائمة الإخبار لنا بذلك. فنحن نرغب في البرجر مع جميع إضافاته، وكذلك البيتزا الشهية، والشوكولا البلجيكية الرائعة مع شراب براندي الفرنسي الجميل.

وقد رسم بحث البشر عن الطاقة -في صورة الطعام- شكل تقدمنا، وتطور الحضارة، ومعظم المحتوىٰ التلفازي الآن. فبعد مرور ساعات قليلة من دون طعام، تبدأ آلام الجوع. وبعد مرور حوالي شهر من دون طعام، ببساطة لن يستطيع جسدك تحمل مزيد من الجهد، وسوف تلقىٰ حتفك.

فأنت آلةٌ معالِجة للطاقة. وكذلك الحياة كلها.

وشأنها شأن العديد من المساعي البشرية، فإن دراسة الطاقة -لا سيما تدفق الحرارة- كانت بدافع المال. ففي القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، قامت الثورة الصناعية علىٰ عاتق المحركات البخارية. حيث كان الوصول إلىٰ محركات أكفأ يعني جني المزيد من المال، ومن ثم انجذب المستثمرون والعلماء نحو البحث في الكيفية التي يمكن من خلالها تحويل الحرارة إلىٰ حركة. فعلىٰ أرض المصنع، نشأ علم الديناميكا الحرارية.

لا تكاد توجد مبالغة في أهمية الديناميكا الحرارية بالنسبة للفيزياء الحديثة. فهي تقدم المبادئ الإرشادية والإطار الرياضي لفهم أي تدفق للطاقة في الكون،

انطلاقًا من هضم قطعة دجاج مقلي، إلىٰ إمداد عضلات رجل لاعب كرة القدم الأمريكية بالطاقة، وحتىٰ التفاعلات النووية، التي تمد ضوء الشمس بالطاقة والتي تمد الكوكب بالوقود، الذي بدوره ينمي البذرة، التي تُغذِّي الدجاجة، التي تؤول إلىٰ قطع دجاج مقلي.

ثمة أربعة قوانين أساسية للديناميكا الحرارية، ولكن لأسباب تاريخية، فقد تم ترقيمها من صفر إلىٰ ثلاثة. وهذه هي النسخة التشاؤمية. صفر: ثمة لعبة. واحد: أقصىٰ ما يمكنك فعله هو التعادل. اثنان: لا تستطيع التعادل سوىٰ عند درجة حرارة الصفر المطلق[1] ثلاثة: ليس بوسعك الوصول إلىٰ الصفر المطلق.

وبمزيد من الدقة -وربما تكون أقل إحباطًا- تنص القوانين الأربعة علىٰ ما يلي. يسمح القانون رقم صفر لنا بتعريف مفهوم درجة الحرارة. فإذا كان لجسمين درجة الحرارة نفسها، لن تنتقل الحرارة بينهما؛ لأنهما في حالة اتزان حراري. وينص القانون الأول علىٰ أن الطاقة -بما في ذلك الحرارة- محفوظة؛ أي أنها لا تُستَحدّث ولا تُفنَىٰ[2] وينص القانون الثالث علىٰ أن الصفر المطلق -ويُقصَد به درجة الحرارة التي تتوقف عندها جميع الحركة الحرارية نظريًّا- لا يمكن الوصول إليه عمليًّا.

ونحن هنا سنركز علىٰ قانون الديناميكا الحرارية الأشهر، ألا وهو القانون الثاني. ولإبراز ما يتصف به؛ يقول عالم الفيزياء الفلكية البريطاني الكبير «آرثر إدينجتون Arthur Eddington» (١٩٢٨، ص. ٧٤):

---

(١) هو أقل طاقة حرارة يمكن أن تصل إليها المادة، وفي تلك الحالة تكون جميع ذرات وجزيئات المادة في أقل طاقة لها -المترجم-.

(٢) قد يتوهم بعض القراء من هذه العبارة «لا تستحدث ولا تفنىٰ» بأن الطاقة أزلية، وهذا ما لا يعنيه قانون حفظ الطاقة ولم يقصده الكاتب من الاساس، والمعنىٰ هنا أن كمية الحرارة الموجودة في نظام ما قد تتحول من صورة لاخرىٰ وهو ما يجعل البعض أن يتوهم بنقصان مقدار الطاقة الموجود في النظام، والحقيقة أن طاقة النظام ثابتة لا تتبدد ولا يعني أنها موجودة منذ الازل، فقد تنشئ نظاما معزولا إلا أن طاقته التي يحتويها محفوظة لا تتغير ولا تتبدل -المترجم-.

إذا لفت أحدهم انتباهك إلىٰ أن نظريتك المفضلة عن الكون تتعارض مع معادلات ماكسويل (الخاصة بالكهرومغناطيسية الكلاسيكية)، فسوف يزداد الأمر سوءًا بالنسبة لمعادلات ماكسويل. وإذا ما اكتُشِف أن نظريتك تتعارض مع النتائج المرصودة، فلا بأس في ذلك؛ لأنه أحيانًا ما يرتكب أولئك التجريبيون أخطاءً. ولكن إذا ما اكتُشِف أن نظريتك تعارض القانون الثاني للديناميكا الحرارية، فما من أمل أمنحك إياه؛ ? شيء بشأن نظريتك سوىٰ الانهيار في مهانة بالغة.

حيث ينص القانون الثاني للديناميكا الحرارية (تقريبًا) علىٰ أن كمية النظام في الكون (أو في جزء معزول منه) لا تزداد تلقائيًّا. فالنظام -في أحسن أحواله- يظل كما هو، وينشأ فقط علىٰ حساب الفوضىٰ في مكان آخر. وبالرغم من أن مصطلح النظام (order) بدهي، إلا أنه فضفاض؛ ولذا يُفضِّل الفيزيائيون استعمال مصطلح «الإنتروبيا» (entropy).

الإنتروبيا والفوضى وطاقة الكون

لقد اعتدنا علىٰ أن ينقلب النظام إلىٰ فوضىٰ، وأن استعادة النظام بحاجة إلىٰ بذل مجهود. فالمطبخ لن يُنظِّف نفسه. كما أن إصلاح إناء الزهور المكسور أصعب بكثير من كسره في البداية. وكذلك يذوب الثلج الذي في كأسك، وتصل درجة حرارة النبيذ إلىٰ نفس درجة حرارة الغرفة؛ فلم يسبق لك أن رأيت هذه العملية تسير في الاتجاه المعاكس.

ومع ذلك، فإن أهمية الإنتروبيا كمفهوم يقابلها خفاؤها ودقتها الشديدة. فقط سل أحد طلاب البكالوريا في مجال الفيزياء الذين أتموا دراسة دورة في الفيزياء الحرارية والإحصائية. حيث يمكن إساءة فهم الإنتروبيا بسهولة.

بوسعنا تبسيط الأمر إذا تأملنا الإنتروبيا من منظور الطاقة المفيدة أو الحرة. فالنظام الذي لديه إنتروبيا منخفضة يكون لديه طاقة يمكن استخلاصها وتحويلها لصورة أخرىٰ. وفي المقابل، فإن طاقة المنظومات ذات نسب الإنتروبيا المرتفعة تكون عالقة؛ فلا يمكن استغلالها.

تأمل محطة طاقة كهرومائية. فالمياه التي في الجبال لديها طاقة يمكن استغلالها، وهي -في هذه الحالة- طاقة جاذبية كامنة. وبينما تتدفق أسفل الجبل، يمكنها تدوير محرك التوربين؛ مما يسمح بتخزين تلك الطاقة واستخراجها بهدف استغلالها. وحين تبلغ المياه البحيرة التي في قاع الوادي، تكون قد سُلِبت طاقتها الكامنة، ولم يعد بوسعنا استخدامها في تشغيل المحرك. حيث كانت

المياه وهي في الجبال مصدرًا للطاقة منخفض الإنتروبيا، ولكن عندما تصل إلىٰ بحيرة الوادي؛ تكون الإنتروبيا الخاصة بها قد ازدادت.

لنكمل ما بدأناه بمثالٍ بسيط عن الحرارة. تأمل دلوين من الماء أحدهما ساخن والآخر بارد. حيث يكون لدىٰ النظام الذي به هذين الدلوين إنتروبيا منخفضة؛ ومن ثم تستطيع أن تستغلهما. فمثلًا، يمكنك أن تصل الدلوين بسلك معدني. وبهذا تتدفق الحرارة من الدلو الساخن إلىٰ البارد. ومع استخدام المواد المناسبة وشيء من المهارة، يمكنك بناء مولد كهروحراري (thermoelectric)، يستغل تدفق الحرارة هذا في إنتاج الكهرباء.

وبينما تتدفق الحرارة بين الدلوين، يبرد الدلو الساخن ويدفأ الآخر البارد. وسوف تتساوىٰ درجة حرارة المياه في كل منهما حتمًا، وحينها يتوقف كل شيء. فما من حرارة تتدفق، ولا كهرباء تُنتَج. ولم يعد ثَمَّ طاقة صالحة تُستَخلَص. حيث يشكل الدلوان الآن نظامًا مرتفع الإنتروبيا.

لاحظ أنه لا تزال توجد وفرة من الطاقة الحرارية، غير أنها فقط لن تنتقل لأي مكان آخر، ولن يتغير شكلها.

ولكن ماذا عن «النظام»؟ هل الحالة الأولية للدلو الساخن والآخر البارد أكثر نظامًا من الحالة الأخيرة الفاترة؟ يمكننا أن نفكر علىٰ هذا النحو. نبدأ ثانية بدلو ساخن وآخر بارد، ونسكب جميع المياه التي في الدلو الساخن في ٥٠ كأسًا، ونسكب جميع المياه التي في الدلو البارد في ٥٠ كأسًا آخر. ومن بين المائة كأس، اختر ٥٠ كأسًا عشوائيًّا لسكبها ثانية في الدلو الأول، وخمسين آخرين في الدلو الثاني. ثمة ٢٩ ١٠ طريقة لفعل هذا، ولكن اثنتان منهما فقط هما اللتان يستعيدان الدلوين الساخن والبارد (إحداها عن طريق إعادتهم في دلوهم الأصلي، والثانية عن طريق استبدال الساخن بالبارد). وسائر الطرق الأخرىٰ تخلط الساخن والبارد، وبهذا تقلل الفرق المفيد في درجة الحرارة. وبينما لم نغير إجمالي كمية الطاقة الحرارية في سائر الطرق الأخرىٰ، إلا أن

الأغلبية العظمىٰ من الطرق تنتج دلوين فاترين لهما نفس درجة الحرارة تقريبًا، بالإضافة إلىٰ القليل من الطاقة الصالحة.

وبهذا فإن المنظومة الأولىٰ -ذات المياه الساخنة والأخرىٰ الباردة كل في مكانه- أكثر نظامًا بكثير من المنظومة الأخيرة ذات المياه الفاترة في كل من الدلوين. فقد ازدادت الإنتروبيا نظرًا لوصول الدلوين إلىٰ حالة اتزان.

كما يمكننا استعادة الحالة الأولية للمنظومة عن طريق تسخين أحد الدلوين ووضع الآخر في الثلاجة. وسيكون الدلوان مفيدين ثانية، وقادرين علىٰ توليد الكهرباء.. ولكن عندما نصفي الحسابات، ونسدد قيمة جميع الطاقة المستخدمة في تدفئة الدلوين وتبريدهم، سنجد دائمًا أن مجمل الإنتروبيا قد ازداد. فقد أعيدت الإنتروبيا المنخفضة للدلوين علىٰ حساب الفوضىٰ الناشئة في مكان آخر.

حيث ينص القانون الثاني للديناميكا الحرارية علىٰ أنه في أيَّة حالة تتدفق فيها الطاقة، لا يقل إجمالي الإنتروبيا أبدًا. ففي أحسن الأحوال، تظل حصيلة الإنتروبيا كما هي. وغالبًا ما تزداد الإنتروبيا، فتقل الطاقة المتوفرة لعمل أشياء أخرىٰ.

وفي كوننا المتوسع، تزداد الإنتروبيا علىٰ نحوٍ دؤوب، وتقل الطاقة المتوفرة لعمل الأشياء علىٰ نحو مستمر. وفي المستقبل البعيد للكون، سوف تتضاءل الطاقة المتاحة، إلىٰ أن يصبح الكون رتيبًا وبلا حياة، علىٰ نحو يشبه كانبيرا Canberra[1] سوف نرجع إلىٰ هذه النقطة ثانية (أقصد الكون وليس كانبيرا).

فالحياة -مهما كانت خصائصها المميزة- تتسم بالحركة، فهي تعمل عن طريق معالجة الطاقة، كما تسري المفاهيم التي تحدد تدفق الطاقة بين الدلوين الساخن والبارد عليك أيضًا. ومن دون إنتروبيا، لا توجد حياة. ولكن شأنها شأن

---

(١) نقول للقراء غير الاستراليين، إن كانبيرا كانت قد اختيرت لتكون العاصمة القومية عام ١٩٠٨ وذلك لمنع المشاجرة بين مدينتي ملبورن وسيدني، التي استمرت حتىٰ يومنا هذا. فشأنها شأن العديد من المدن المصممة في أنحاء العالم، تحظىٰ كانبيرا بسمعة سيئة من حيث كونها مملة وخالية من الخدمات الترفيهية الليلية. ومن المؤكد أنها ليست بهذا السوء (ولكنها ليست بجمال سيدني!).

الدلوين، فإن الطاقة وحدها غير كافية لخلق الكهرباء أو الحركة أو التمثيل الغذائي. فنحن بحاجة إلىٰ طاقة صالحة للاستخدام. والحياة بحاجة إلىٰ إنتروبيا منخفضة.

فمن أين تحصل الحياة علىٰ طاقتها الصالحة للاستخدام؟ لنتتبع مصدر طاقتنا الصالحة للاستخدام بالرجوع بالزمن.

مسيرة الإنتروبيا

إن المصدر النهائي لجميع الطاقة التي علىٰ الأرض (فعليًّا) هو الشمس. ففي باطن الشمس، تسمح درجات الحرارة المرتفعة ومستويات الضغط الهائلة لأنوية الهيدروجين بالانضغاط معًا لإنتاج الهيليوم. وتنبعث الطاقة جرَّاء تلك العملية؛ مما يجعل الفرن النووي يظل مشتعلًا. ومع ذلك، مع ازدياد حشد باطن الشمس لذرات الهيليوم، تقلِ الطاقة المتوفرة وتزداد الإنتروبيا.

وفي حين أن الشمس ستصبح قادرة علىٰ إصدار الطاقة من خلال باطنها المليء بالهيليوم في المستقبل، إلا أن عملية دمج أنوية أخف لصنع عناصر أثقل لا يمكن استمرارها للأبد. ففي النهاية، لن يكون لدىٰ الذرات التي في باطن الشمس ما تمنحه. ومن ثم، تخمد النيران، وتموت الشمس. ونأمل أن يكون البشر قد رحلوا إلىٰ مكان آخر قبل حدوث ذلك.

ولكن، لنعد إلىٰ شمسنا التي في الوقت الحالي، التي من حسن حظنا أنها تحرق الهيدروجين. فالطاقة التي تصدرها تتدفق عبر الفضاء، ولا يهبط علىٰ كوكب الأرض منها سوىٰ مقدار قليل. وأكثره يهبط علىٰ المياه والصخور والرمال، إلا أن بعضه تمتصه النباتات والطحالب.

ومن خلال عملية البناء الضوئي، تستخدم النباتات الطاقة التي في ضوء الشمس لتحويل المواد الكيميائية البسيطة إلىٰ مواد كيميائية أعقد، وتخزِّن الطاقة

في صورة روابط كيميائية[1] وأقصىٰ ما يمكن للبناء الضوئي فعله هو احتجاز أكبر قدر من الضوء الذي يتلقاه في طاقة كيميائية، إلا أن إحدىٰ نتائج القانون الثاني هو أنه دائمًا ما يتم فقد بعض الطاقة، ويتم فقدها في هذه الحالة علىٰ هيئة حرارة. ومرة أخرىٰ، يتم تقليص الطاقة الصالحة للاستخدام، ويستمر ارتفاع الإنتروبيا.

وتُستَخدم الطاقة التي يخزنها النبات في بناء المزيد من النبات. ويمكن للحيوانات استغلال ما يقوم به النبات من عمل دؤوب عن طريق التهامه، واكتساب ما فيه من طاقة مختزنة. وبالطبع كثيرًا ما يقوم البشر -لكونهم آكلات لحوم ونبات- (حرفيًّا) باختصار الطريق والتهام حيوانات أخرىٰ، ممن خزنت طاقة النبات في عضلاتها وأعضائها ودهونها.

إلام تصير الطاقة التي نستهلكها؟ حتىٰ وأنت تجلس في سريرك، لا تفعل شيئًا سوىٰ قراءة كتاب نافع (كهذا)، فأنت عادة ما تكون أدفأ مما حولك. ومن ثم، تدفئ حرارتك الداخلية ما حولك من هواء، وتتحرر في صورة أشعة تحت حمراء؛ فلو كانت عيناك حساستين لهذا الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي، لأضاء الناس. كما أن فاعلية معالجتنا للطعام لا تبلغ ١٠٠٪، بينما تزود فضلاتنا الكثير من الكائنات الحية التي في المستنقعات وغيرها بالوقود.

ولا تستمد الحضارة الحديثة طاقتها من النباتات والحيوانات التي نستهلكها وحسب، بل من النفط والغاز والفحم الذي نستخرجه من الأرض أيضًا. فما مصدر مخزون الطاقة الكبير هذا؟

كان والد جيراينت Geraint يعمل في مناجم الفحم. وكثيرًا ما كان يحضر قطعًا من الفحم إلىٰ البيت، والتي عندما تنشطر، تُبدي أثرًا جميلًا من آثار نبات السرخس القديم. وقد ساعد هذا في إثارة اهتمام ولده بالعلوم الطبيعية.

---

(١) وتماشيًا مع موضوع هذا الكتاب، فإن الواقع أعقد قليلا مما ذكرنا.

فقد عاشت تلك النباتات أكثر من ٧٠ مليون سنة قبل الديناصورات الأولىٰ، عندما جابت الحشرات العملاقة البر والجو، وسادت أسماك القرش البحر. وفي أثناء ذلك العصر الكربوني، كانت مساحات شاسعة من الأرض عبارة عن غابات استوائية مطيرة ومستنقعات ذات أعداد غير متناهية من النباتات التي تمتص ضوء الشمس.

وحينما ماتت بعض تلك النباتات، لم تسنح الفرصة لاضمحلالها؛ لأن بقاياها قد دفنت تحت وحل لا هوائي. ونظرًا لانضغاط مادتهم تحت طبقات الرواسب والصخور، وعبر الضغط الهائل والحرارة، تحولت تلك المادة النباتية إلىٰ فحم. وفي أوقات أخرىٰ، دفنت الطحالب والحيوانات البحرية الصغيرة في باطن الصخور، وتحولت ببطء إلىٰ نفط. فإن ما نستخرجه اليوم هو أجسام تلك النباتات والحيوانات الميتة منذ زمن طويل. فالنفط الذي في سيارتك والفحم الذي يولد الكهرباء أكثر قليلًا من كونهم أشعة شمس مكثفة.

تمامًا كالدلوين الساخن والبارد الواردين في الفصل السابق، فإن الطاقة الصالحة للاستخدام تتدفق من الشمس الساخنة إلىٰ الأرض الأبرد في هيئة ضوء شمس. فتيار الفوتونات هذا قادر علىٰ إمداد جميع أنواع العمليات المفيدة التي علىٰ الأرض بالطاقة، ولذا لابد وأن تكون لديه إنتروبيا منخفضة نسبيًّا.

حيث يتم معالجة الطاقة -جزئيًّا من قبل الحياة- وفي مقابل كل فوتون ذي طاقة مرتفعة ترسله الشمس إلىٰ الأرض، ينبعث ٢٠ فوتونًا ذوي طاقة منخفضة نحو الفضاء.

فمنظومة وجودك برمتها -التي تستخدم الطاقة لتحويل الطعام إلىٰ المزيد منك ومن ذريتك- تعتمد علىٰ مخزون الإشعاع المنخفض الإنتروبيا الذي يتدفق من الشمس. حيث يلزم وجود مصدر ذي إنتروبيا منخفضة لحدوث أي نشاط علىٰ الكوكب، بما في ذلك الحياة. فلماذا كانت الشمس مصدرًا ذا إنتروبيا منخفضة.

مادة الجاذبية الثقيلة

كما رأينا، فإن حياتنا اليومية عبارة عن معركة بين القوىٰ الأساسية. فالجاذبية تقوم بجذبنا نحو مركز الأرض. بينما تأبىٰ ذرات الأرض أن تنضغط -وذلك بفضل الكهرومغناطيسية- مما يدعم وزننا. وبالنظر إلىٰ سطوة الجاذبية علىٰ كل ما حولنا، قد يكون من المدهش مدىٰ مقارنة الجاذبية الضعيفة بالقوىٰ الأخرىٰ. تأمل بروتونين: حيث تبلغ نسبة جذبهما الناتج عن الجاذبية إلىٰ تنافرهم الناتج عن الكهرومغناطيسية نحو $١٠^{-٣٦}$! فالكهرومغناطيسية أشد بتريليونات تريليونات تريليونات المرات.

وإذا لم تكن علىٰ يقين من ضعف الجاذبية، تصور كرة بولينج تسقط من ناطحة سحاب. تجذبها كتلة الأرض الهائلة التي تبلغ ($١٠^{٢٤}$ كيلوجرام)، حيث تسقط الكرة بعجلة نحو مركز الكوكب. وبإهمال مقاومة الهواء، تكتسب الكرة في كل ثانية تسقط فيها سرعة زائدة تبلغ ٩.٨م/ث. حيث تهبط بسرعة متزايدة حتىٰ ترتطم بالأرض. ثم ماذا يحدث؟ حسنًا، لنأخذ في حسباننا أرضية صلبة جدًّا مكونة من الصلب. ولنفترض أيضًا أن كرة البولينج مصنوعة من الفولاذ الصلب، بحيث لا تتصدع أو تنكسر. وتذكر أن الجاذبية قد جذبت الكرة لعشرات أو مئات الأمتار. بيد أن القوة الكهرومغناطيسية الناجمة عن التنافر بين الإلكترونات الخارجية لذرات الأرضية وتلك التي للكرة تجعلها ترتد ضمن مدىٰ يبلغ ميلليمترًا. فبينما الجاذبية مهمة بالنسبة لنا، إلا أنه ما من شك في أنها ضئيلة.

إذا كنت منتبهًا، فقد تتساءل: إذا كانت الجاذبية ضعيفة جدًّا، فلِم لا تسيطر الكهرومغناطيسية تمامًا علىٰ خصائص الكون؟ ثمة اختلاف جوهري بين الكهرومغناطيسية والجاذبية. كما يوجد نوعان من الشحنة الكهربية -موجبة وسالبة- حيث يمكن لكل منهما إبطال مفعول الآخر. وفي المقابل، ثمة شحنة جاذبية واحدة (وهي الكتلة) والتي تحاول جمع المزيد من الكتلة. فالتفاعل الكهرومغناطيسي الذي يحفظ تماسك الذرة غير مرئي تقريبًا للعالم الخارجي نظرًا لأن عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات) يُحدِث اتزانًا مع عدد الشحنات الموجبة (البروتونات). وعلىٰ بعد مسافة ما، يبدو أنه ما من شحنة علىٰ الإطلاق. فكلما جعلنا أشياء أكبر وأكبر ذات أعداد متساوية من البروتونات والإلكترونات، بحيث يتم إبطال الشحنة وزيادة الكتلة؛ فإن الجاذبية ستتفوق حتمًا.

فبالرغم من أن الجاذبية هي أضعف القوىٰ، إلا أنها تؤدي دورًا حيويًّا في وجودنا ذاته. فهي تشكل بيئتنا الكونية. لنلق نظرة علىٰ دورها في صنع ضوء الشمس.

وضع ضوابط لقلب الشمس[(١)]!

سبق وأن علمنا أن الشمس هي المصدر الرئيس الذي يمد الأرض بالطاقة. وسواء وصلت هذه الطاقة منذ ملايين الأعوام وهي مخزنة الآن علىٰ شكل فحم أو نفط، أو وصلت مؤخرًا وتحولت إلىٰ كهرباء من خلال لوحة شمسية أو إلىٰ مادة نباتية عبر البناء الضوئي، فهذه الطاقة علىٰ كل حال هي التي تسمح بوجودك كإنسان يؤدي وظائفه. بيد أن مصدر طاقة الشمس الحتمي نفسه ظل لغزًا لفترة طويلة.

---

(١) العنوان مأخوذ من الاغنية الشهيرة "Set the Controls for the Heart of the Sun!" لفرقة موسيقىٰ الروك الانجليزية بينك فلويد Pink Floyd. التي ظهرت في ألبومهم الثاني، مجموعة من الاسرار A Saucerful of Secrets (1968) -المترجم-

https://www.youtube.com/watch?v=3zuEfmmCA5s]

فنحن لم نتوصل إلىٰ أن الشمس عبارة عن قدر ضغط هائل سوىٰ خلال المئة عام الماضية. فنظرًا لكتلتها المهولة -التي تبلغ أكثر من مليون ضعف كتلة الأرض- تستطيع الشمس ضغط باطنها لمستويات ضغط ودرجات حرارة مهولة. وبدفع البروتونات النشطة بإحكام مع بعضها البعض، يتم اشعال ردود الفعل النووية مكونة بذلك الهيليوم. وتتحرر الطاقة في صورة فوتونات ذات تردد عالٍ جدًّا تُعرف بأشعة جاما. حيث إن مصير تلك الأشعة ذات الطاقة المرتفعة هو السقوط علىٰ الأرض في صورة ضوء الشمس، غير أن صورتها الأولية التي هي أشعة جاما من شأنها إما أن تتجاوز الأبنية الجزيئية التي بداخلنا أو تدمرها.

ومع ذلك، فإن تلك الفوتونات المتشكلة حديثًا ليس لديها مسار سهل تسلكه من باطن الشمس إلىٰ سطح الأرض. في الواقع، بالنظر إلىٰ الكثافات المهولة، فإنها تبدأ بالاصطدام بالبروتونات والإلكترونات المحيطة؛ مما يزيد من حرارة الغاز. وبفضل درجة الحرارة العالية جدًّا هذه، فإن الضغط الخارجي للغاز يوازن ضغط الجاذبية.

تمامًا كما يترنح مدمنو المشروبات الكحولية وهم خارجون من الحانة، فإن تلك الفوتونات تسلك طريقها خارجة من باطن الشمس، متذبذبة لمرات لا حصر لها، إلىٰ أن تصل في النهاية إلىٰ سطح الشمس. حيث يستغرق تغطية مسافة ما مئات آلاف الأعوام بينما يستطيع ضوء الشمس تغطية المسافة نفسها في ثوان معدودة، إذا استطاع أن يرحل في خط مستقيم. وبتحرر الفوتونات إلىٰ سطح الشمس، فإنها تتدفق عبر الفضاء لتمنحنا مشاهد الشروق والغروب المذهلة، ولتزويد حياتنا بالطاقة. ولمسار تذبذبهم عبر الشمس تبعات مهمة. فبالإضافة لدعمه الغاز في مقابل الجاذبية، فإنه يخفف طاقة الفوتونات وذلك بتحويلها من أشعة جاما المعقِّمة إلىٰ فوتونات ضوئية تمد النبات بالطاقة.

وتستطيع أغلب النجوم البقاء في ظل هذا الاتزان الرائع بين ضغط الجاذبية الداخلي وقوة الضغط الخارجي لمليارات السنين. فإذا أفرطت جاذبية النجم في

ضغط باطنه، سوف يقاوم ويندفع ثانية. وإذا ما تمدد جزء منه علىٰ نحو مفرط، فسوف تعيده الجاذبية إلىٰ مكانه الطبيعي.

ومع ذلك، تمتلك بعض النجوم التي استنفذت الهيدروجين الذي بباطنها معدلات احتراق نووي حسَّاسة ومتقلبة، ولذا فهي غير قادرة علىٰ إحداث ذلك الاتزان. فحين تنضغط، يبالغ الباطن في رد الفعل المعاكس؛ حيث تتحرر دفعة من الطاقة في النجم مما يسفر عن توسعه جدًّا. ثم يتوقف النجم وينكمش؛ مما يسفر عن فعل معاكس مفرط. فبدلًا من استقرار نجوم سيفيد المتغيرة (متغير قيفاوي) تلك، تظل تنبض.

وبالنسبة لبعض النجوم، تصبح عملية النبض هذه عنيفة علىٰ نحوٍ متزايد، إلىٰ أن يحدث خفقان مهول يلقي بطبقات النجم الخارجية في الفضاء، ولا يبقي سوىٰ باطن نجميٍّ ميت. وهذا السيناريو المتكرر هو المصير الحتمي للشمس بعد نحو خمس مليارات سنة من الآن.

وكما رأينا، فإن تدفق الطاقة من باطن الشمس في النهاية يمد الحياة التي علىٰ الأرض بالطاقة. فقبل اشتعال النجوم الأولىٰ، لم يكن ثمة مصادر للضوء منخفضة الإنتروبيا في الكون يمكن للحياة أن تستغلها. فميلاد النجوم الأولىٰ خطوة مهمة في خلق الحياة في هذا الكون[١]

وتستمد النجوم الطاقة من خلال الاندماج النووي، الذي يجمع العناصر الأولية لخلق أنوية أكبر. وكما الحال في المراحل الأولية للكون، فهذه معركة

---

(١) يظن الفلكي بجامعة هارفارد أفي لوب Avi Loeb (2014) أنه كان من الممكن أن تنشأ الحياة في حمام الاشعاع الدافئ الذي خلفه الانفجار الكبير. فهذا الاشعاع -الذي كان في الاصل عبارة عن أشعة جاما فائقة النشاط- يبرد بتوسع الكون. بعد مضي نحو ١٠ إلىٰ ٢٠ مليون عام علىٰ الانفجار الكبير، كان الكون دافئًا، وكانت درجة حرارته تقريبًا نفس درجة حرارة الارض. وقد كان بوسع الكواكب الصخرية -إذا كان أيٌّ منها موجودًا آنذاك- أن تحتفظ بالمياه السائلة. فهل هذه بيئة صالحة للحياة؟ تذكر أن تباين درجات الحرارة هو ما يسمح لك باستخلاص الطاقة واستمرار الحياة، وإشعاع الخلفية الكونية هذا يشبه بحرًا متماثلا، من دون تدفق من الدفء إلىٰ البرودة، ولذا فإن إمداد الحياة بالطاقة أمر عضال.

بين جميع القوىٰ الأساسية الأربع. حيث تدفع القوة الكهرومغناطيسية الجسيمات المشحونة بشحنة موجبة بعيدًا عن بعضها، بينما توفر القوة القوية المادة اللاصقة لدمج الأنوية الأخف في عناصر أثقل، مع تحرير طاقة.

كذلك تؤدي القوة الضعيفة دورًا يسهل إغفاله رغم أنه حاسم. فقد تكون ممن لاحظوا أن النجوم تحرق أنوية الهيدروجين (التي يتكون كل منها من بروتون واحد) إلىٰ هيليوم (الذي يتكون من بروتونين ونيوترونين). فمن أين جاءت النيوترونات؟ خلال تصادم بروتونين، من الممكن -رغم أنه غير محتمل- أن يتحول أحدها إلىٰ نيوترون بفضل القوة الضعيفة. وبالنظر إلىٰ العدد الهائل من تصادمات البروتونات التي تحدث في نجم ما، قد تصبح هذه الأحداث النادرة مهمة للغاية. وينتج عن اتحاد البروتون والنيوترون نواة الديوتيريوم (الهيدروجين الثقيل) وينبعث من التفاعل بوزيترون ونيوترينو. وبهذا يتكون النيوترون، ويمكن استخدامه في تكوين الهيليوم.

ثمة اختلاف حاسم بين دور الجاذبية في النجوم ودورها في الفرن الكوني. ففي الدقائق الأولىٰ القليلة من عمر الكون، لم يكترث أثر تبريد الجاذبية كثيرًا بحدوث التفاعلات النووية من عدمه. فالكون يتمدد ويبرد بغض النظر عن ذلك. وبهذا كان لدىٰ التفاعلات النووية فرصة واحدة ووحيدة: حيث توجد فترة قصيرة واحدة عندها يبلغ الكون درجة الحرارة المناسبة لتزويد تفاعل ما بالطاقة، وإذا لم تكن المكونات المناسبة جاهزة، فسيكون هذا سيِّئ للغاية. فدرجة الحرارة لن تعود لما كانت عليه.

وعلىٰ الجانب الآخر، فإن النجوم مستقرة بفضل الاتزان بين سحق الجاذبية ودفع الضغط الحراري. حيث إن الجاذبية والقوىٰ الأخرىٰ تقاوم بعضها البعض. فعلىٰ سبيل المثال، إذا لم تكن درجة الحرارة عالية بما يكفي لدعم وجود وزن النجم نفسه، فسوف ينسحق ويتقلص وتزداد حرارته إلىٰ أن يقوم اندلاع جديد للتفاعلات النووية بتثبيت وضع الجاذبية. ففي حالة النجوم المستقرة، درجة الحرارة ستصل لحالة من الثبات.

ويلزم من حدوث هذا التوازن وجود نجم تتراوح كتلته بين نطاق محدد. فلو كانت صغيرة جدًّا، لن تنضغط كرة الغاز بشدة كافية -بفعل الجاذبية- لإحداث التفاعلات النووية. ولو كانت كبيرة جدًّا، سيستهلك باطن النجم -المُثار علىٰ نحو مفرط - الوقود بسرعة شديدة، وسيكون عرضة لتحرير طبقات غازه الخارجية[١] حيث يؤكد ما رصدناه تلك الحدود: فما من شيء يبلغ ١٠^٥٦ جسيمًا ويلمع، ولم نكتشف نجمًا تبلغ جسيماته 3×10^{59}. فهذا هو المدىٰ.

فما الذي سيحدث إذن لو عبثنا بقيم تلك القوىٰ التي تحكم نجومنا؟

---

(١) تقول المراجع القياسية إن النجوم التي هي أكبر من الشمس بحوالي ١٠٠ مرة غير مستقرة. فمن المفترض أنها لا تقاوم التقلص ولا التوسع؛ ومن ثم فإن أقل دفعة تؤدي إلىٰ انهيار أو انفجار. ومع ذلك، أظهرت نماذج أكثر تعقيدًا أن ما يسمىٰ «النجوم فائقة الحجم» يمكن وجودها: فبينما هي قريبة إلىٰ ناحية عدم الاستقرار التي تحدثنا عنها، إلا أنها لا تقطعها، ويمكن جعلها مستقرة عن طريق آثار نسبية ودوران. في الواقع، أظهر ويليام فولر (١٩٦٦) أن الدوران من شأنه أن يحدث استقرارًا لدىٰ النجوم التي يزيد ثقلها ١٠٠ مرة عن الشمس. ومع ذلك، لا تعلق آمالا علىٰ فرص الحياة حول نجم كهذا. فهذه النجوم تحرق وقودها النووي في غضون مليون سنة. وبهذا، سيكون عليها أن تتشكل وفقًا لهذا النطاق الزمني، مستقطبًا ما يزيد عن مادة الشمس كل عام. وعندما تستنفذ وقودها، إما أن تنهار وتتحول إلىٰ ثقب أسود، أو تحدث «أعظم الانفجارات طاقة في هذا الكون»، الذي بوسعه إفناء الغاز الذي لدىٰ مجرته البدائية التي ينتمي إليها. وسوف نتعامل مع بداية النجوم قصيرة العمر التي يسودها ضغط الاشعاع علىٰ أنها الاطار المرجعي الذي يسمح بالحياة، رغم أن مزيدًا من الاهتمام المولىٰ للامور النظرية قد يوضح الموقف.

إضعاف شدة جذب الجاذبية

يكمن قلقلنا الأول إزاء إضعاف شدة جذب الجاذبية[١] خلف ما إذا كانت النجوم ستتشكل أصلًا. حيث تتكون المجرات والنجوم والكواكب في كوننا من خلال جذب الجاذبية، وسوف نتحدث عن هذا في الفصل التالي. أما الآن، فنحن نتساءل: لو أن لدينا كونًا ذا جاذبية أضعف (ومع افتراض تشكل النجوم أيًّا ما تكن)، فكيف ستبدو تلك النجوم؟

فبإضعاف شدة الجاذبية، لا بد للنجوم من أن تكون هائلة لكي تظل مستقرة، الأمر الذي يعيد إثارة قلقنا إزاء كيفية تشكلها في المقام الأول. ولكن ثمة مزيد من المشكلات.

حيث تطلق تلك النجوم الضخمة فوتونات أقل حيوية من تلك التي يطلقها نظائرها ذوو الجاذبية الأقوىٰ. فالفوتونات التي تتحرر من شمسنا منسجمة جدًّا

(١) ملحوظة تقنية: إن ما نسميه «شدة الجاذبية» يُعرَف أيضًا بثابت اقتران الجاذبية ويرمز له بالرمز (α_g). وهو يعتمد علىٰ كتلة البروتون (mp) حيث إن: ($\alpha g = Gm_p^2/\hbar c \approx 6 \times 10^{-39}$). وبهذا فإن تغير شدة الجاذبية يعادل تغير كتلة البروتون، بالنسبة إلىٰ كتلة بلانك. ونحن نستخدم كتلة الالكترون لانها الكتلة الاكثر صلة بأجسام الفيزياء الفلكية. فعلىٰ سبيل المثال، يُقدر عدد الجسيمات في نجم ما بـ ($\alpha_g^{-3/2}$). وقد تأملنا أثر تغير كتل الجسيمات الاساسية علىٰ الذرة والكيمياء في الفصل السابق. وفي هذا الفصل، عندما نتأمل الاجسام الفيزيائية الفلكية كالنجوم، سوف نناقشها من حيث جعل الجاذبية أقوىٰ أو أضعف؛ لانها أكثر بدهية. حيث إن الرياضيات هي نفسها. لاحظ أنه بالنظر إلىٰ مدىٰ ثابت اقتران الجاذبية الذي يسمح بوجود نجوم مستقرة، فإن هذا (لا يتعدىٰ) حالة واحدة من حالات الضبط الدقيق. فهي ليست حالتين: ضبط شدة الجاذبية بدقة وكذلك كتلة البروتون.

من حيث الطاقة مع الروابط الجزيئية. فإذا أصدرت الشمس أشعة جاما، ستتفكك الجزيئات التي تشكل الحياة. وفي المقابل، إذا أصدرت موجات الراديو، فإنها بالكاد ستدفئ الأرض كما لو أنها فرن مايكرويف. فمن المؤكد أنها ستظل توفر طاقة ذات إنتروبيا منخفضة، ولكن ليست من النوع التي يمكن لآلة جزيئية استخدامه بشكل مباشر.

كما تقدم تلك النجوم الواهنة عائقًا آخر أمام تشكل العناصر المعقدة اللازمة لأجل الحياة: فهي مملة.

حيث إن النجوم في كوننا لديها آليتان لنقل الطاقة من باطنها إلىٰ سطحها. ففي النجوم الإشعاعية، تحمل الفوتونات معظم الطاقة. أما في نجوم الحمل الحراري، فتتحرك الغازات نفسها وترتج، حتىٰ يختلط الغاز الساخن بالأسفل بآخر أبرد منه بالأعلىٰ.

وفي كوننا، يمر الخط الذي يفصل بين النجوم الإشعاعية ونجوم الحمل الحراري من خلال منتصف المدىٰ النجمي الخاص بنا. حيث تميل النجوم الكبيرة لأن تكون إشعاعية، بينما تميل الصغيرة لأن تكون ذات حمل حراري أكثر. كما أن لدىٰ العديد من النجوم كلًّا من مناطق الحمل الحراري والأخرىٰ الإشعاعية.

إليك السبب في كون هذا الأمر مهمًّا. في كوننا هذا، وقبيل أن تستنفذ إحدىٰ النجوم الكبيرة جدًّا وقودها وتنفجر، تتحول إلىٰ طبقات مثل البصل. بحيث تكون الأجزاء الداخلية أكثر كثافة ودفئًا من الخارجية، وبهذا تحرق الوقود علىٰ نحو أسرع. وعندما يحترق الباطن ويصير حديدًا، والذي تحيط به طبقات السيليكون والأكسجين والنيون والكاربون والهيليوم والهيدروجين إلىٰ الحد الذي يمكن أن يبلغه الانصهار النووي المولد للطاقة. ويرجع الفضل في إمكانية حدوث هذا إلىٰ أن عمليات الحمل الحراري لا تخلط الطبقات. فحين ينفجر الباطن، تنبعث العناصر المفيدة التي في الطبقات الخارجية إلىٰ الكون. حيث تُعدُّ تلك

المستعرات العظمىٰ (السوبرنوفا supernovae) -التي ينهار باطنها- هي المسؤولة عن نحو نصف الكربون الموجود خارج النجوم.

وفي النجوم المتوسطة الحجم، لا يحترق الباطن سوىٰ علىٰ قدر الكربون والأكسجين. حيث تنتج كمية قليلة من الكربون في الحمل الحراري، مما يجعل الطبقات الخارجية للنجم تهتز. وكلما تقدم عمر النجم ونفد وقوده، تنزع انقباضاته ونبضاته الكثيرة تلك الطبقات الخارجية. ويسمىٰ الغازُ المنبعثُ السديمَ الكوكبيَّ (planetary nebula) وهو المسؤول عن نصف الكربون الآخر الموجود خارج النجوم.

ومع ذلك فإن النجوم الصغيرة مملة. فالحمل الحراري يشملها كلها، ولذا بوسعها جلب جميع الوقود المتوفر إلىٰ الباطن لكي يحترق. كما لا توجد بها طبقات. فالنجوم الصغيرة جدًّا مثلًا تحرق كل ما لديها من هيدروجين وتحوله إلىٰ هيليوم ولذا تكون غير ساخنة بما يكفي لحرق المزيد. فهي تحتجز مادتها وتصبح قزمًا أبيضا ليس به سوىٰ الهيليوم، وهو عبارة عن تجمع للمادة علىٰ هيئة كرة مقاوم للجاذبية والتبريد المتباطئ، ولا يكاد يحدث تأثيرًا آخر.

لنعد إلىٰ كوننا ذي الجاذبية الضعيفة. من الأهمية بمكان أن الخط الإشعاعي المقابل للحراري لا يوازي مدىٰ الكتلة. ففي كون ذي جاذبية ضعيفة، سيتعين علىٰ جميع النجوم أن تكون حرارية. وستكون نسخة أكبر من النجوم الصغيرة التي في كوننا. وسوف يحترقوا من خلال وقودهم إلىٰ أن يعجزوا عن إثارة مزيد من التفاعلات، ومن ثم يتوقفوا.

ويمكن للنجم أن يكون طبقات إذا كان باطنه يحرق الوقود علىٰ نحو أسرع من خلط الحمل الحراري للغاز. ومن المؤسف أن النجوم ترتج بسرعة تكفي لجعل ذلك غير ممكن إلا بعد حرقها الكربون والأكسجين إلىٰ شيء آخر. وحتىٰ لو تحولت النجوم إلىٰ مستعرات عظمىٰ (سوبر نوفا) وسكبت مواده في الفضاء النجمي، فستكون عناصر ثقيلة بالأساس كالسيليكون والحديد، وليس الأكسجين والكربون الذَيْن يدعمان الحياة.

وعلاوة علىٰ ذلك، قد لا تتحول تلك النجوم إلىٰ مستعرات عظمىٰ (سوبر نوفا) أصلًا. حيث إن النيوترينوات التي تطرد الطبقات الخارجية للنجوم الثقيلة في كوننا ستكون عالقة في الباطن، وعاجزة عن دفع الطبقات الخارجية بما يكفي. ومن ثم تتبع الانهيار الحتمي إلىٰ نقب أسود[1]

وتقذف النجوم ذات الجاذبية الضعيفة كمية قليلة من المادة في الرياح النجمية، وقد تطرد المزيد عندما تستنفذ ما لديها من عنصر معين وتغير مصادر وقودها. ومع ذلك، ففي الأغلب تموت تلك النجوم الكبيرة في خفوت وليس في انفجار؛ حيث تنحبس عناصرها الأساسية في باطنها إلىٰ الأبد. وبهذا كان الكون سيبدو كما لو أنه بحر رتيب من الهيدروجين والهيليوم، ويتخلله نجوم ميتة وأخرىٰ في طريقها إلىٰ الموت، وهي علىٰ الأقل أكثر إثارة للاهتمام.

---

(١) لقد برهنت الفيزياء التي تدرس الانهيار الباطني للمستعرات العظمىٰ «السوبرنوفا» علىٰ أنه من الصعب انحلالها. ويُعتَقد أن النيوترينوات تمثل جزءً مهمًا من آلية الانفجار، حيث إن حجة بسيطة عن المعيار الزمني توصل إلىٰ استنتاجنا. انظر (Carr and Rees (1979) لمزيد من التفصيل.

لعنة الجاذبية الأقوى

بينما يؤدي إضعاف شدة الجاذبية إلىٰ نشأة كون ممل إلىٰ حدٍّ ما، تؤدي زيادتها إلىٰ كون أكثر إثارة. في الواقع، إنه مثير لبرهة قصيرة، لكنه ليس بالضرورة صالحًا للحياة.

ففي الأكوان ذات الجاذبية الأقوىٰ، يهبط المدىٰ الذي يسمح بالنجوم نحو كتلٍ أصغر. إذ تنضغط النجوم بفعل الجاذبية الأقوىٰ، حيث يضمن هذا الضغط الشديد علىٰ بواطن النجوم تسريع الاحتراق النووي، فتزداد حرارة احتراق النجوم وسرعتها، مما يشكل عناصر أثقل وأثقل. حتىٰ إن كرات الغاز الصغيرة بوسعها إثارة بواطنها وخوض الحياة النجمية.

وتحترق تلك النجوم الأصغر بدرجة حرارة أعلىٰ، مصدرة مزيدًا من الأشعة فوق البنفسجية، بل وحتىٰ السينية. وقد استُبدِل الإشعاع الذي يستمد طاقته من الآلة الجزيئية بفوتونات جاما والأشعة السينية المعقِّمَيْن. وقد تحتاج الحياة علىٰ كوكب ما إلىٰ الاحتشاد تحت الأرض، تاركة السطح العقيم يمتص الحرارة، ومحاوِلةً العيش علىٰ الحرارة المتبقية. وكما أسلفنا، يفشل ضوء النجوم في إمداد التفاعلات الكيميائية بالطاقة مباشرة.

ومع كل هذه الحياة السريعة، تموت تلك النجوم في عمر مبكر، وكثيرًا ما تحترق عبر وقودها النووي. وقد تحترق النجوم سريعًا عبر الطاقة النووية للكون، مصدرة إشعاعًا يقضي علىٰ الحياة، وتموت في انفجار مستعرات عظمىٰ (سوبر

نوفا) أكثر طاقة وخطرًا. أما في كوننا، فتبلغ الجاذبية نحو ما يقل عن ١٠.٤٠ ١٠ مرة عن شدة القوة القوية، وإذا كانت أضعف بنحو ٣٠ ١٠ مرة فقط؛ لكانت النجوم الاعتيادية قد احترقت في غضون أعوام، وليس عشرات المليارات من الأعوام.

أو ربما كان هذا ما ظنناه، إلىٰ أن ألقىٰ فريد آدامز Fred Adams من جامعة ميشيجان Michigan نظرة أقرب علىٰ النجوم التي في الأكوان الأخرىٰ[1] حيث اكتشف فريد حالة أخرىٰ لثبات النجوم، وهي حالة تضيق المدىٰ النجمي كلما زادت شدة الجاذبية. فلو كانت الجاذبية أضعف $١٠^{٣٥}$ مرة -وليس $١٠^{٤٠}$- من القوة القوية؛ لكان المدىٰ قد انتهىٰ تمامًا. فلن تكون ثمة إمكانية لوجود نجوم مستقرة.



شكل ٢١: استقرار النجوم، وهو دالة تجمع بين شدة قوىٰ كل من الكهرومغناطيسية (في المحور الأفقي) والجاذبية (في المحور الرأسي). (وقد ظهر الرسم الأصلي في مؤلَّف آدم الصادر عام ٢٠٠٨).

ولذا يظهر أننا إذا أردنا الحصول علىٰ نجوم مستقرة -تكون قادرة علىٰ إصدار الإشعاع ذي الإنتروبيا المنخفضة اللازم لنشأة الحياة- فسنكون بحاجة ليس فقط إلىٰ كون الجاذبية ضعيفة مقارنة بالقوىٰ الأخرىٰ، وإنما جعلها ضعيفة جدًّا. والسبب في انقياد كوننا من حيث شدة الجاذبية هو لغز مبهم، ويدخل في صميم سؤال الضبط الدقيق.

---

(١) لا يعني المؤلف هنا الاكوان المتعددة **Multiverse** وإنما يعني الصور المختلفة لكوننا في حال اختلفت الثوابت الكونية كما وضح آنفا حيث تمثل كل حالة صورة مختلفة ومغايرة لكوننا الذي نعهده -المترجم-

لم نتأمل سوىٰ أثر تغير شدة الجاذبية، بيد أننا أكدنا أن جميع القوىٰ الأساسية الأربعة تحكم النجوم. حيث يظهر مفعول الكهرومغناطيسية عند تنافر الأنوية المشحونة بشحنة موجبة، وكذلك في بعثرة الضوء لدىٰ الإلكترونات خلال انتقاله من الباطن إلىٰ السطح. فماذا سيحدث لو غيرنا قيمتها أيضًا.

كما تفسر حسابات فريد آدامز هذا أيضًا، حيث تظهر النتائج في الرسم ٢١. في الوهلة الأولىٰ، تبدوا الأمور علىٰ ما يرام. ومن الواضح أنه توجد العديد من محصلات قوىٰ الجاذبية والكهرومغناطيسية التي لن تسفر عن نجوم مستقرة، بيد أن كوننا علىٰ ما يبدو يقع في مثلث الاستقرار.

في الواقع، لقد شغلنا هذا المثلث. فقد ذكرنا سلفًا أن زيادة شدة الجاذبية ينتج نجومًا غير مستقرة. وكما في الرسم، فإن هذا يعني أن منطقة «النجوم غير المستقرة» تخيم أعلىٰ نقطة «وجودنا». كما أن الحرية الزائدة لتغيير شدة الكهرومغناطيسية -أفقيًا- يجعل الأمور أسوأ عمليًا. حيث إن معظم تحركات كوننا نحو اليسار أو اليمين تزيد من حجم منطقة النجوم غير المستقرة.

انتبه! فهذا الرسم مصمم (بدقة) لتوضيح شكل منطقة «النجوم المستقرة». ولكنه لا يعبر بالضرورة عن حجم المنطقة. فعلىٰ سبيل المثال، المحاور مرسومة بمقياس لوغاريتمي، فبدلًا من تدريجها ٠، ١، ٢، ٣ .، نجدها مدرجة هكذا .١، ١، ١٠، ١٠٠ وعلاوة علىٰ ذلك، لقد اخترنا انفصال حدود المحاور عند النقطة المثيرة. حيث يتجاوز المخطط تلك الحدود في جميع الاتجاهات.

لنتصور تغير المحاور من كونها لوغاريتمية إلىٰ خطية. ولنمد المحور الرأسي -الذي يمثل شدة الجاذبية- إلىٰ شدة القوة القوية، كمحاولة لتقدير ما يمكن أن يحدث. ففي هذا الرسم، تقع منطقة «النجوم المستقرة» في أقل من جزء من ١٠.٣٥ من المساحة الكلية للمخطط.

وقد رأينا بالفعل كيف تؤثر القوىٰ القوية والضعيفة في استقرار المادة وإنتاج العناصر في مراحل الكون الأولىٰ. حيث إن حدوث تغيرات طفيفة نسبيًا في تلك القوىٰ يجعل الأنوية غير مستقرة.

حتىٰ إن التغيرات الأصغر من شأنها أن تؤثر في كيفية احتراق النجوم. حيث إن الانخفاض الطفيف في شدة القوة القوية بنحو ثمانية في المائة سيجعل الديوتيريوم غير مستقر. ولن يظل ارتباط البروتون بالنيوترون ممكنًا، وسيتعرض التفاعل النووي الأول في النجوم إلىٰ خطر الانهيار. كما أن زيادتها بنسبة اثني عشر بالمائة سيتسبب في ارتباط الديبروتون[1] (diproton)[2]؛ بحيث يمكن للبروتون الارتباط ببروتون آخر. وهذا يمنح النجوم مسارًا مختصرًا؛ أي طريقًا أيسر لحرق الوقود. فلو اجتمع الديبروتون (diproton) فجأة في الشمس؛ لحرق الهيدروجين بمعدل استثنائي، مستنفذًا وقوده في مجرد لحظات.

ولكن تكمن مشكلة هنا، أو علىٰ الأقل تأزُّم في المسألة. ففي الكون الذي يكون فيه الديبروتون (diproton) مرتبطًا ببساطة لن يجعل النجوم بدفء الشمس ولا كثافتها. تذكر أن النجوم تتأقلم مع تفاعلاتها، طالما أن النجم مستقر. وبالتالي فسيكون لدىٰ النجوم المستقرة الحارقة للديبروتون (diproton) باطنًا أبرد وأقل كثافة. وفي الواقع العملي، إن هذا يعني أنه سيكون بمقدور كرات الغاز الأصغر إثارة التفاعلات الكيميائية وإبقاؤها. وهذه ليست مشكلة كبيرة، كما أنها -في الواقع- ستسمح بوجود نجوم مستقرة في أكوان ذات جاذبية أشد[3]

وما يثير القلق أكثر هو انحلال الديوتيريوم. فسوف يتعين علىٰ النجوم أن تكون ضخمة بما يكفي لضغط الباطن وتسخينه إلىٰ أن يتمكن ثلاثة بروتونات من الاندماج مباشرة في نظير الهيليوم (helium-3) الذي هو عبارة عن بروتونين ونيوترون. في الواقع، ثمة وكزة أخرىٰ للقوة القوية تفك ارتباط نظير الهيليوم (helium-3)، ولذا ستتطلب النجوم تفاعلًا نوويًا يسير في أربعة اتجاهات. وسوف يستلزم إثارة تلك التفاعلات نجومًا كبيرة جدًا وبالتالي قصيرة العمر جدًا.

---

(١) يُعرف الهيليوم الثنائي (helium-2) باسم الديبروتون وهو أحد نظائر الهيليوم وغير مستقر للغاية حيث يتكون من بروتونين بدون نيوترونات -المترجم-.

(٢) بوشا وآخرون (١٩٩١).

(٣) إن لوك Luke بصدد نشر ورقة بحثية تستخدم نماذج مشابهة لتلك التي استخدمها فريد آدامز وذلك لاثبات أن النجوم التي في أكوان يكون فيها الديبروتون (diproton) مستقرًّا يمكن أن يكون لها خواصًا مشابهة للنجوم التي في كوننا. وهو سيتحدث عنها في المدونة حتمًا.

باختصار، تتطلب الحياة نجومًا لأداء عدد من الأدوار. حيث يتحول فيها الهيدروجين والهيليوم إلىٰ سائر عناصر الجدول الدوري. وهي المكان الذي نشأ فيه الكربون والأكسجين والحديد وغير ذلك. وهي مصدر الطاقة المفيدة بالنسبة لنا؛ حيث تنتج الضوء الذي لديه القدرة علىٰ إمداد التفاعلات الكيميائية بالطاقة. ويمكنها فعل ذلك لمليارات الأعوام. غير أنها مع ذلك غير مستقرة تمامًا. فنحن بحاجة إلىٰ تلك العناصر؛ ولذا فنحن بحاجة لئلا تموت النجوم في محض خفوت، بل في انفجار. فالنجوم هي من تنتج العناصر وتوزعها. وعلاوة علىٰ ذلك، فإن حطام الانفجار يتجمع حول النجوم أيضًا فتنشأ الكواكب.

وتترجم هذه المتطلبات إلىٰ مجموعة دقيقة من الظروف المحيطة بالخواص الأساسية للكون. فنحن بحاجة إلىٰ القوة القوية لإمداد التفاعلات النووية بالطاقة وارتباط الأنوية، وكذا الكهرومغناطيسية لحمل الطاقة عبر النجوم وخارجها، والقوة الضعيفة لتحويل النيوترونات إلىٰ بروتونات وإمداد المستعرات العظمىٰ (السوبر نوفا) بالطاقة. .وقبل كل شيء، نحتاج إلىٰ أن تكون الجاذبية ضعيفة؛ وهذا بالأساس هو السبب في أن كوننا لديه مصادر طاقة كبيرة طويلة العمر مستقرة.

فإذا ما نظرنا إلىٰ مدىٰ الاحتمالات، نجد أن كوننا يقع علىٰ حدٍّ دقيق حيث إن النجوم مناسبة فيه تمامًا لأجل الحياة. ومن الممكن وفقًا لافتراضنا وجود أجزاء كبيرة من مدىٰ المتغيرات المتعدد الاتجاهات هذا تسمح بوجود نجوم مستقرة، غير أننا لم نستطع الوصول إليها. وفي هذه الحالة، فإنه من المحتمل لسهم مقذوف عشوائيًّا تجاه مدىٰ المتغيرات هذا أن يصيب موقع النجوم الصالحة علىٰ أي حال. ولكن حتىٰ لو وجدت تلك الجُزُر -مع أنه لا دليل عليها- فلا يزال أمامنا السؤال عن السبب في أن هذا الكون الذي نسكنه يرتكز علىٰ حدٍّ دقيق كهذا بينما يوجد مدىٰ آخر كبير جدًّا من المتغيرات المحتملة التي كان من الممكن أن نسكنها. وبغض النظر عن نظرتك إلىٰ هذا الأمر، يبدو أن وجود النجوم المستقرة خاصية مضبوطة بدقة من خصائص كوننا.

رنين هويل

وقبل أن ننتقل من قلب النجوم، نحتاج إلىٰ مناقشة إحدىٰ أشهر حالات الضبط الدقيق، ألا وهي رنين هويل Hoyle resonance. وقد سميت باسم أحد أعظم علماء الفيزياء الفلكية بالقرن العشرين، وهو فريد هويل[1] Fred Hoyle، الذي يشيع ذكره نظرًا لبعض أفكاره السخيفة حول تاريخ الكون ومنشأ الحياة. بيد أنه يسلط ضوءً شديدًا علىٰ كثير من الفيزياء الفلكية الحديثة، لا سيما ما يحدث في باطن النجوم. في خمسينات القرن العشرين/ بينما كان يحاول استنباط الطرق المختلفة التي تشكل بها الأفران النووية لدىٰ النجوم عناصر أثقل وأثقل، واجهته إحدىٰ العقبات، وهي وجود الكربون.

قد تذكرك أقلام الرصاص والماس بالكربون. كما تخبرنا المجلات العلمية بتلهف أن ترتيبات الكربون الأكثر استثنائية مثل كرات الباكي (الفلورينات) والأنابيب النانومترية، والجرافين لديها جميع الخصائص الغريبة والمذهلة (والتي نأمل أن تكون مفيدة تقنيًا).

ويؤدي الكربون دورًا مهمًا بالنسبة للحياة علىٰ الأرض؛ فهو يمثل العمود الفقري لأبنيتنا الجزيئية كالبروتين والكربوهيدرات والدهون والأحماض الأمينية.

---

(١) نوصي بالاطلاع علىٰ السيرة الذاتية لهويل Hoyle's autobiography (1994) وكذلك تلك التي كتبها سيمون ميتون Simon Mitton (2011). وقد حظي جيراينت Geraint بشرف الاستماع لمحاضرة هويل عن بعض أفكاره الكوزمولوجية الاكثر غرابة، ورغم أن تلك القصة كانت مجنونة بعض الشيء، إلا أن بريق النباهة ولكنة يوركشاير Yorkshire المتحررة لا يزالان عالقين بذهنه.

فنحن عبارة عن صورة من صور الحياة المبنية علىٰ أساس الكربون.

ولكن لماذا التركيز علىٰ الكربون؟ هل يمكن لعنصر آخر أن يؤدي الدور نفسه؟ هل ثمة احتمالية لأن نكون إحدىٰ صور الحياة المبنية علىٰ أساس النيون neon أو الفاندانيوم vanadium؟

كما سبق وأن رأينا، فإن قدرة العناصر علىٰ الاتحاد في جزيئات تعتمد علىٰ توزيع إلكترونات تلك العناصر، لا سيما تلك الإلكترونات التي تحتل المدارات الأبعد عن نواة الذرة. وبعض العناصر قد ملأت مداراتها الإلكترونية، مما يعني أن تلك الغازات الخاملة لا رغبة لديها في الاتحاد مع ذرات أخرىٰ لتكوين عناصر.

غير أن المدارات الإلكترونية للكربون غير ممتلئة. وفي الواقع، يحتوي الكربون علىٰ أربعة إلكترونات راغبة في المشاركة مع ذرات أخرىٰ، ولذا فهو سرعان ما يكون العديد من العناصر الأخرىٰ. كما أن تنوع جزيئات الكربون وتعقيدها يجعلها تتلقىٰ عناية خاصة في العلم الحديث، حيث يتم تخصيص كتب ضخمة ومعامل بحثية للكيمياء العضوية، وهي كمياء الكربون.

كم عدد العناصر الأخرىٰ التي كان من الممكن أن تؤدي الدور نفسه الذي يؤديه الكربون في توفير كيمياء الحياة؟ الإجابة: ليس كثيرًا.

إن كل من شاهد حلقة «شيطان في الظلام (The Devil in the Dark)» من سلسلة «رحلة عبر النجوم (Star Trek episode)» الكلاسيكية (وهي التي صدرت في ستينيات القرن العشرين) سيعلم أن الشخصية الخيالية هورتا (التي تبدو بشكل مريب كشخص يزحف علىٰ الأرض، مُغطًّى ببطانية) يُفترض أنها صورة من صور الحياة المبنية علىٰ أساس السيليكون. وهذا المظهر من مظاهر الخيال العلمي يحتمل أن يكون واقعًا علميًّا؛ لأن السيليكون رغم أنه أثقل من الكربون، إلا أنه يمتلك توزيعًا مماثلًا للإلكترونات الخارجية، ومن ثم فهو أيضًا عديد الاستخدامات كيميائيًّا. ورغم أن الأبنية الجزيئية الناتجة ليست مواتية لدعم كيمياء الحياة، إلا أن احتمالية الحياة المبنية علىٰ أساس السيليكون لا تزال قائمة.

وخلافًا للسيليكون، ثمة بصيص أمل في الحياة المبنية علىٰ أساس عناصر أخرىٰ. حيث اقتُرح البورون Boron والكبريت sulphur، بيد أنهما نادرين جدًّا في الكون، وهما ببساطة لا يوفران الجزيئات الطويلة، المرتبطة، المطوية بشكل كبير والتي تحتاج إليها الحياة لأجل آليتها الداخلية ومخططها الوراثي. فلا يوجد سوىٰ ٩٢ عنصرًا كيميائيًّا يحدث بشكل طبيعي، والكربون هو أكثرها ملائمة للحياة بفارق شاسع.

وها نحن قد وصلنا الآن إلىٰ سؤال أساسي: من أين أتىٰ كل هذا الكربون الذي في الكون؟ لقد سبق وأن رأينا أن النيران الكثيفة الموجودة في المراحل الأولىٰ من الكون قد شكلت الهيليوم helium من الهيدروجين hydrogen، بيد أنه سرعان ما تضاءلت النيران، ولم ينشأ في الكون سوىٰ آثار بوادر بعض العناصر الأثقل وهي البريليوم beryllium والليثيوم lithium. وفي أعقاب الانفجار الكبير مباشرة، كان أقل من واحد في المائة تريليون من الأنوية عبارة عن أنوية كربون!

وقد سبق وأن رأينا أنه يمكن للأفران التي في النجوم أن تظل مشتعلة لملايين ومليارات السنين، ويظل هذا الاشتعال قائمًا بفعل اندماج أنوية ذرات صغيرة في عناصر أثقل. فالنجوم هي التي تخلق الكربون الموجود في العديد من جزيئاتك.

وعلىٰ الوجه الآخر، بمجرد أن يشكل نجم ما الهيليوم، يصبح تكوين الكربون أمرًا سهلًا؛ فكل ما عليك هو تحطيم نواتي هيليوم (helium-4) لتكوين البريليوم (beryllium-8) الذي يحتوي علىٰ أربعة بروتونات وأربعة نيوترونات، ثم تضيف نواة هيليوم أخرىٰ لتكوين الكربون (carbon 12) الذي يحوي ستة بروتونات وستة نيوترونات. ومع ذلك، فإن البريليوم (beryllium-8) غير مستقر. فهو لن يظل سوىٰ لمدة $١٠^{-١٦}$ قبل أن ينقسم إلىٰ نواتي هيليوم. ولذا سنحتاج إلىٰ نجم ساخن وكثيف بما يكفي لكي يكون من المرجح وجود نواة هيليوم ثالثة في المكان نفسه خلال هذه الفترة القصيرة. وباستحضار أن نواة الهيليوم (helium-4)

تُعرَف أيضًا باسم جسيم ألفا، فإن هذا التفاعل يُعرَف بعملية ثلاثيِّ ألفا (triple-alpha).

وقد اقترحت عملية ثلاثي ألفا للمرة الأولىٰ من قِبَل الباحث الفيزيائي بجامعة كورنيل (Cornell) إيد سالبيتر Ed Salpeter، وصارت محل تركيز أبحاث هويل في أربعينات وخمسينات القرن العشرين، حيث حاول اكتشاف ما يحدث في باطن النجوم. ومع ذلك، فقد بدا الكربون محل إشكال. فحين يستنفد نجم ما وقدوده من الهيدروجين، لن يعود بمقدوره مقاومة قوة الجاذبية الساحقة. وسوف يبدأ في الانكماش والسخونة، غير أنه لا يستطيع القيام بذلك إلىٰ الأبد. فإما أن يثير تفاعلًا جديدًا، أو يستقر بفعل ضغط الانحلال (فالفرميونات تقاوم الانضغاط) ويصبح قزمًا أبيض أو نجما نيوترونيا أو ينهار إلىٰ ثقب أسود.

وقد كانت حسابات هويل تنبئه بأنه يفترض ألا تستطيع النجوم إثارة الهيليوم. حيث كانت الظروف الضرورية مستعصية جدًّا؛ فلا يفوق معدل بناء البريليوم معدل انحلاله إلا حينما يُستَنفد جميع الوقود الهيدروجيني وحتىٰ يرفع ضغط الجاذبية الإضافي علىٰ باطن النجم درجة الحرارة إلىٰ ما يزيد عن مائة مليون درجة مئوية. ولن تبلغ النجوم هذا المعدل؛ ولذا لن تبني الكربون.

وفي النهاية، توصل هويل إلىٰ حل مبتكر. حيث اقترح أن نواة الكربون تمتلك خاصية كمومية حصرية تُدعىٰ الرنين (resonance).

ونحن علىٰ علم بأن نواة الذرة عبارة عن كرة من البروتونات والنيوترونات التي تهتز معًا. وإذا أوصلنا طاقة إلىٰ النواة، فلربما من خلال التصويب علىٰ فوتون ذي طاقة عالية نغير طريقة اهتزاز البروتونات والنيوترونات. كما أن عالم الأنوية الذرية الصغير محكوم بقوانين ميكانيكا الكوانتم؛ ومن ثم فإن طاقة النواة محددة كموميًّا. أي أن شأنها شأن الإلكترونات التي تدور حول النواة، فإن البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة لا يمكن وجودها سوىٰ عند مستويات طاقة بالغة التحديد، وليس في مستويات طاقة بينية. وكل من مستويات الطاقة المحددة تلك عبارة عن رنين.

وتقضي الأنوية معظم عمرها في أدنىٰ مستويات طاقتها، المعروفة بالحالة الأرضية (ground state). وهذا لأن النواة تشغل رنين ما أو حالة مثارة لمدة قصيرة جدًّا قبل أن تفقد تلك الطاقة الزائدة وتتحول إلىٰ الحالة الأرضية من خلال انبعاث فوتونات أشعة جاما ذات الطاقة المرتفعة.

ويترتب علىٰ وجود الرنين نتائج مثيرة لدىٰ بناء أنوية الذرات. لننظر فيما يحدث عند اتحاد نواة البريليوم مع نواة الهيليوم لبناء نواة الكربون. تذكر أن تلك الأنوية لا بد وأن تقترب من بعضها بسرعة فائقة لكي تتغلب علىٰ التنافر الكهرومغناطيسي الناشئ عن شحناتهما الموجبة. فإذا استطاعا التغلب علىٰ ذلك، واقتربا من بعضهما بما يسمح للقوة القوية بأن تبسط سيطرتها؛ حينئذ يبدأ دور حالات الرنين تلك.

وسوف تحتوي نواة الكربون المتكونة توًّا علىٰ بروتونات ونيوترونات في حالة اهتزاز. وتعتمد طاقة هذا الاهتزاز علىٰ طاقة التصادم بيْن أنوية البريليوم والهيليوم. وإذا منحت الأنوية المتصادمة أجزاء الكربون طاقة الحالة الأرضية بدقة؛ حينئذ يمكن للتفاعل أن يتم سريعًا طالما أن جميع الأجزاء يمكنها أن تأخذ أماكنها بأريحية.

ومع ذلك، فبالنظر إلىٰ شدة التصادم؛ من المؤكد تقريبًا أن البروتونات والنيوترونات التي في نواة الكربون سوف تهتز بطاقة أكبر بكثير من مستوىٰ الحالة الأرضية. ولذا ستحتاج إلىٰ التخلص من هذه الطاقة. وبينما توجد فرصة لأن تصدر تلك النواة المتكونة توًّا الطاقة الزائدة في صورة فوتون أشعة جاما وتستقر في الحالة الأرضية، إلا أن هذا مستبعد جدًّا. حيث إن التفاعل نشط جدًّ إلىٰ درجة أن النواة بعيدة جدًّا عن الحالة الأرضية. وعلىٰ الأرجح، سوف تنشطر نواة الكربون، وتعود إلىٰ البريليوم والهيليوم.

ومع ذلك، إذا كان ثمة رنين في الموضع المناسب تمامًا من الكربون، فسوف تسفر الطاقة المجتمعة لأنوية البريليوم والهيليوم عن نواة كربون في إحدىٰ حالاتها المثارة. حيث تعرف نواة الكربون المثارة كيفية التصرف مع الطاقة

الزائدة من دون أن تنشطر. فاحتمالية انحلالها قليلة، بينما تزداد احتمالية اضمحلالها إلىٰ الحالة الأرضية مع انبعاث فوتون أشعة جاما. وها قد تشكل الكربون، وتحررت الطاقة وتكلل الأمر بالنجاح!

ومن هنا، استنبط هويل أنه لو كان ثمة رنين للكربون ذو طاقة مكافئة لطاقة نواة البريليوم بالإضافة إلىٰ نواة الهيليوم وبعض الطاقة الزائدة المضافة بسبب درجات الحرارة الهائلة في باطن النجوم، فسوف يسفر تصادم البريليوم والهيليوم تلقائيًّا عن حالة الكربون المثارة هذه. وسوف يعزز وجود الرنين من إنتاج الكربون في النجوم بمعامل يبلغ ١٠ مليون.

وبحلول خمسينات القرن العشرين، كان العديد من الخواص النووية للكربون وكذلك العديد من العناصر الأخرىٰ قد دُرِسَت دراسة مكثفة من خلال التجارب. وقد كان ثمة لبس حول مستويات الرنين لدىٰ الكربون، وكذلك من المؤكد غياب أي دليل قوي يدعم ذلك الذي أراده هويل. ومع ذلك، كان هويل علىٰ علم بموضع البحث بدقة، وألح علىٰ التجريبيين أن يحاولوا بجد أكثر. وفي عام ١٩٥٣، عثر ويليام فاولار William Fowler علىٰ مستوىٰ ذلك الرنين في الموضع الذي حدده هويل بالضبط[١]

إليك ملحوظة صغيرة ولكنها مهمة. أحيانًا ما يوصف تنبؤ هويل بأنه «تنبؤ أنثروبي[٢]» 'anthropic prediction'، حيث كان دافعه هو الدور المركزي الذي يؤديه الكربون في الحياة علىٰ الأرض. وهذا علىٰ الأرجح غير محتمل من الناحية التاريخية، وعلىٰ أي حال، فإن الحياة لا تؤدي أي دور في الاستنتاج. ولذا فإن استنتاج هويل -بأنه من دون الرنين، لن يوجد الكربون- لا يحتاج سوىٰ حقيقة أن الكون يحوي كميات كبيرة من الكربون لاستنباط أنه لا بد من وجود الرنين.

---

(١) ليس الامر بهذه البساطة، لذا ينبغي علىٰ القارئ المهتم أن يطلع علىٰ النقاش المفصل في (Kragh (2010)).

(٢) مصطلح تنبؤ انثروبي مشتق من مصطلح المبدأ الانساني وتعني أنه ذو صلة بالوجود الانساني وللتفصيل حول هذا المبدأ انظر كتاب الصنع المتقن، الباب الثاني، الفصل الأول -المترجم-.

في الواقع إن وجود نوع الرنين الذي احتاج إليه هويل أمر شائع نوعا ما. وهو يدعىٰ آلية التنفس؛ حيث تستخدم الطاقة الزائدة في تمدد النواة وانكماشها من دون تغير شكلها. وهي موجودة لدىٰ جميع الأنوية. ومع ذلك، تكمن البراعة في تحديد طاقة التنفس بشكل صحيح.

ولذا يمكننا أن نتساءل عما إذا كان وجود رنين الكربون وخصائصه مضبوطة بدقة لأجل الحياة: فهل لو غيرنا خصائص الكون، وتحديدًا معاملاته الأساسية، هل سيظل حينئذ ينتج الكربون؟

في عام ١٩٨٩، قام ماريو ليفيو Mario Livio وزملاؤه بمعهد علوم تليسكوب الفضاء (Space Telescope Science Institute) بمحاكاة حياة النجوم وموتها باستخدام طاقات رنين مختلفة قليلًا. ففيما يتعلق بالحالة الأرضية، سوف يعمل أي تغير يزيد عن ٣ في المائة علىٰ إيقاف إنتاج الكربون. وهذا يرجع في الواقع إلىٰ سببين: إما أن الكربون لا يتكون أصلًا، أو أن النجوم تحترق بكفاءة عالية لدرجة أن الكربون يتكون ويحترق من فوره. كما يمكن لنواة الكربون أن تستحوذ علىٰ نواة هيليوم أخرىٰ وتكون أكسجين.

وفي حين أن الكربون يؤدي دورًا مركزيًّا بالنسبة للعديد من جزيئات الحياة العديدة، كذلك فإن وجود الأكسجين في الكون مهم أيضًا. فالأكسجين يؤدي دورًا فعالا في العديد من الجزيئات الحيوية، وأشهرها الماء والهواء الصالح للتنفس.

كما أن لكوننا قدرة ملحوظة علىٰ بناء كل من الكربون والأكسجين. وقد جرت العادة علىٰ أن النجوم في كوننا تنتج ذرتي أكسجين لكل ذرة كربون. وهذا يحدث بفضل وجود رنين آخر. حيث إن نمط التنفس في الأكسجين أدنىٰ قليلًا من المستوىٰ المطلوب لدعم المستوىٰ الذي يندمج عنده الكربون بالهيليوم لكي يصبح أكسجين. وهذا يبطئ التفاعل، ويبقي بعض الكربون في النجم، والذي ينبعث في النهاية إلىٰ الكون لكي تستعمله الحياة.

ويتأثر معدل إنتاج الكربون والأكسجين كثيرًا بالقوة النووية القوية. فإذا رفعنا قيمة القوة القوية قليلًا بنسبة ٠.٤ في المائة فقط؛ ستنتج النجوم كمية كبيرة من الكربون، بيد أن هذا سيقطع الطريق أمام إنتاج الأكسجين. فبينما يكون لدينا العنصر المركزي لدعم الحياة المبنية علىٰ أساس الكربون، إلا أن النتيجة ستكون كونًا به القليل جدًّا من الماء.

وإنقاص شدة القوة القوية بنحو ٠.٤ في المائة أيضًا يحدث أثرًا معاكسًا؛ حيث يتحول جميع الكربون بسرعة إلىٰ أكسجين، مما يمد الكون بمياه غزيرة، بيد أنه سيصير خاليًّا من الكربون.

ومع ذلك، يساورنا القلق نظرًا لأن المراحل الأخيرة من حياة النجم -التي تحدث خلالها تلك التفاعلات- تكون عبارة عن شعلة من النشاط. حيث تحرق النجوم الهيدروجين بمعدل بطيء، وعادةً تستغرق ١٠ مليار سنة لاستنفاذ مخزونها منه. وإذا كانت النجوم كبيرة بما يكفي لإثارة مزيد من التفاعلات، فسوف تحترق من خلال الهيليوم في غضون مليوني سنة، ومن خلال الكربون في نحو ألفي سنة، والنيون في أشهر قليلة، والسيليكون في أسابيع قليلة. وهذا التسلسل المتزايد في السرعة -أثناء استنفاذ وقود ما وإثارة آخر- يحدث تغيرات معقدة في النجوم، مما يسبب الصداع للفلكيين الذين يحاولون فهم إنتاج المواد الكيميائية في الكون.

ونتيجة لذلك، فإن تغيرًّا بنسبة ٠.٤ في المائة في شدة القوة القوية قد لا يكون سيئًا بالقدر الذي تصورناه. فقد يتطلب نسبة أعلىٰ قليلًا للقضاء تمامًا علىٰ الكربون أو الأكسجين الذي في الكون.

كما توجد خاصية أخرىٰ أساسية من خواص المادة من شأنها أن تؤثر في الأنوية، وقد اطلعنا عليها من قبل: ألا وهي كتل الكواركات التي يتكون منها البروتون والنيوترون. فقد افترض ستيفين واينبيرج Steven Weinberg -فيزيائيُّ الجسيمات الفائز بجائزة نوبل- أن أثر العبث بقيم تلك الكتل أثر محدود. حيث استنتج أن نواة الكربون ستعمل كحزمة من ثلاث أنوية هيليوم، ولذا لن يكون من

المدهش وجود طريقة تجعلهم يهتزون كأنهم نواة بريليوم غير مستقرة ونواة هيليوم. وهذا هو الرنين اللازم تمامًا.

ومع ذلك فإن إخضاع تخمين واينبيرج للاختبار يتضمن حسابات صعبة وطويلة للغاية. حيث إن الطاقات المحدَّدَة للرنين داخل النواة تعتمد بالأساس علىٰ شدة القوة القوية، والتي تحدد ارتباط البروتونات والنيوترونات، بالإضافة إلىٰ دور أصغر يؤديه التنافر الكهرومغناطيسي للبروتونات المشحونة بشحنة موجبة. وقد يبدو حساب أثرهم مجتمعين في الكربون -الذي ليس به سوىٰ ستة بروتونات وستة نيوترونات- أمرًا سهلًا، ولكن نظرًا للطبيعة المعقدة للقوة النووية القوية؛ فهو في الواقع يتطلب محاكاة حاسوب فائق. ولم يتغلب الفيزيائيون علىٰ تلك الصعوبات الحسابية سوىٰ في عام ٢٠١٢، بعد مضي ٦٠ عامًا علىٰ التنبؤ الأولي لهويل.

وقد نشر فريق من الباحثين بمعاهد ألمانية وأمريكية نتائج الحسابات التي استغرق إجراؤها نحو ١٠ ملايين ساعة حسابية. (وعادة ما يعني هذا شهرًا من الحسابات علىٰ عشرة آلاف حاسوب متصل، لا أن يستمر جهاز واحد في الكدح لألف سنة.)

وقد خاض كل من يفغيني إيبلباوم Evgeny Epelbaum وهيرمان كريبس Hermann Krebs وتيمو ليدا Timo Lähde ودين لي Dean Lee وأولف جي مايسنر Ulf-G. Meißner (2011) هذا التحدي وبحثوا ما سيحدث لإنتاج الكربون والأكسجين إذا عبثنا بالخواص الأساسية للمادة. وعلىٰ عكس تخمينات واينبيرج، فإن تقارب مستويات الطاقة المرتبطة وموضعها يُترجَم إلىٰ حدود صارمة جدًّا علىٰ كتل الكواركات. فإن تغيرها بنسبة كبيرة نسبيًّا يدمر قدرة النجم علىٰ إنشاء كل من الكربون والأكسجين.[١]

---

(١) وهذا تغير في النسبة الضئيلة لمجموع كتل الكواركات الخفيفة (العلوية والسفلية). فهما مظهر واحد من مظاهر الضبط الدقيق، وليسا مظهرين (أحدهما خاص بالكواركات العلوية والاخر خاص بالسفلية).

ويمكنك استحضار ما ذكرناه في الفصل السابق من أنه نظرًا لكون الكواركات «بالغة الخفة -بحسب وصف الفيزيائي ليونارد ساسكيند Leonard Susskind (٢٠٠٥، ص١٧٦)؛ فإن مدىٰ الكتلة الذي يبلغ نسبة ضئيلة من قيمتهم في كوننا يتوافق مع جزء ضئيل من مداهم المحتمل. فهو يبلغ نحو واحد من المليون بالقياس إلىٰ مجال هيجز Higgs field، الذي يعطيهم كتلتهم. وهو يبلغ نحو واحد من ٢٣ ١٠ بالقياس إلىٰ كتلة بلانك.

ولذا فإن حقيقة أننا موجودون ونكتب تلك الكلمات -بينما أنت تقرأها- وجميعنا مكونون من جزيئات الكربون والأكسجين، لا سبيل لإمكانها سوىٰ أن كتل الكواركات وشدة القوىٰ تقع في نطاق محدود جدًّا.

الإنتروبيا الأولية للكون

وقبل أن ننتهي من هذا الفصل، ثمة حقيقة أخيرة لكنها غاية في الأهمية تتعلق بالإنتروبيا. فكما سبق وأن رأينا، فإن الحياة تزيد الإنتروبيا التي في الكون من خلال معالجة الطاقة. في الواقع، إن جميع العمليات الفيزيائية بدءً من تبريد الغاز وانهياره، ومرورًا باحتراق النجوم، وحتىٰ الانفجار العنيف للمستعرات العظمىٰ «السوبرنوفا»، كل هذا يزيد الإنتروبيا في الكون.

ومع ذلك، لن يستمر ازدياد الإنتروبيا إلىٰ الأبد. فإن كوننا -علىٰ حد علمنا- حتمًا لن يكون به مزيد من الطاقة الحرة، وسيموت. وهذه الحالة العظمىٰ للإنتروبيا هي الوجهة الأخيرة للكون. وقد تستغرق وقتًا طويلًا جدًّا، ولكن ما لم نكن مخطئين تمامًا في فهمنا للكون، فإن هذه هي وجهتنا.

كيف سيبدو الكون كلما تقدم به العمر، واقترب من وجهة الإنتروبيا القصوىٰ؟ سيكون علينا أن نفصِّل قليلًا، إلا أن الصورة التي تشكلت لدينا من خلال قوانين الفيزياء واضحة إلىٰ حد ما. فبينما تحترق النجوم، تندمج العناصر الأخف. وفي الوقت نفسه، تضمحل العناصر الثقيلة جدًّا إلىٰ أخرىٰ أخف، وذلك من خلال النشاط الإشعاعي. ثمة غاية مشتركة، وهي الحديد. فالحديد هو

أشد الأنوية الذرية ارتباطًا، ولذا فهو لن يضمحل إلىٰ عناصر أخف منه من دون تدخل الإنتروبيا، ولن يتحول إلىٰ عناصر أثقل من دون تدخلات أخرىٰ من جانب الإنتروبيا. فهو ليس لديه طاقة حرة يمنحها[١]

وكلما تقدم عمر الكون، يتم احتباس المزيد من المادة داخل الحديد، ولذا تقل الطاقة المتوفرة لفعل الأشياء. وفي النهاية، سيتم استنفاد المادة اللازمة لتشغيل النجوم عمليًّا، وهي العناصر الأخف كالهيدروجين والهيليوم. وسيقل عدد النجوم المتبقية في الكون، مما سيحول ما بقي من العناصر الخفيفة إلىٰ توهج خافت، بحيث تبرق في أرجاء كون آخذ في الإظلام. وفي يوم ما، سوف تستهلك آخر نجمة حفنتها المتبقية من الوقود، وسوف تنطفئ أيضًا.

وقبل تلاشي النجمة الأخيرة بوقت طويل، ستكون النجوم الأضخم قد ماتت بشكل مثير، إثر انفجارها بعنف حال كونها مستعر أعظم «سوبرنوفا». حيث تُثار تلك الانفجارات حين يندمج باطن النجم الضخم تمامًا ويتحول إلىٰ حديد، ومن ثم يتوقف عن إصدار الإشعاع لمقاومة الجاذبية. وهذه أنباء غير سارة بالنسبة للنجم؛ لأن هذه الدفعة الإشعاعية هي ما يعين النجم علىٰ مقاومة الانهيار. وحين تتلاشىٰ النيران النووية، تسقط الطبقات الخارجية للنجم نحو الداخل، ساحقة باطن النجم. حيث تمزق عودة خاطفة للنشاط النووي النجم إلىٰ أشلاء. إلىٰ أن ينهار الباطن تمامًا، وينسحق إلىٰ ثقب أسود. وكلما تقدم الكون في العمر، يتبعثر المزيد من ركام تلك النجوم العملاقة في السماء.

والثقوب السوداء عبارة عن منافذ أحادية الاتجاه؛ فهي تلتهم المادة والطاقة ولا ترد شيئًا إلىٰ الكون. أو أن هذا ما كنا نعتقد، إلىٰ أن ذهب ستيفين هوكينج بأسلوب مقنع في سبعينات القرن العشرين إلىٰ أن آثار الكوانتم القريبة من نقطة اللاعودة للثقب الأسود (أفق الحدث ١٤[٣٤]) سوف تسفر عن انبعاث الجسيمات من الثقب الأسود. وأن هذا الإشعاع الضعيف سوف يستنزف طاقة الثقب الأسود

---

(١) من الناحية الفيزيائية وفقًا لفهمنا إياها، فإن طاقة نواة الحديد دائمًا ما تكون حبيسة. وكما سنرىٰ، فإن الفيزياء الحديثة قد تقدم فرصة لهذه الطاقة بأن تتحرر في النهاية.

ببطء، ويجعله يتبخر. حيث إن درجة الحرارة المنخفضة جدًّا لهذا الإشعاع تجعل من المستحيل تقريبًا تصور أية عملية مفيدة في ترويض الثقوب السوداء. فالثقوب السوداء هي الآلات الحتمية للإنتروبيا.

وفي المستقبل الضبابي البعيد، ستكون الطاقة الحرة المتاحة في الكون قد تضاءلت بشكل كبير، ولكن سيظل هنالك بعض ما يمكن الظفر به إذا علمت أين تبحث. حيث إن أجسام النجوم الميتة -التي ليست ضخمة بما يكفي لإنهاء حياتها في مستعرات عظمىٰ- سوف تتبعثر في الكون، وسوف تحتوي علىٰ بقايا عناصر كيميائية، علىٰ رأسها الهيدروجين والهيليوم. ولبناء نجم جديد، سنحتاج إلىٰ اندماج جسمين منها، ونأمل أن يثير حاصل انضغاطهما المشترك الناشئ عن الجاذبية تفاعلات كيميائية. ومع ذلك فإن تلك الاندماجات نادرة إلىٰ أبعد الحدود؛ لك أن تتوقع أولها بعد نحو ١٠^٢٢ عام من الآن[١] فبحلول هذا الوقت، علىٰ الأرجح سيبزغ هذا النجم الجديد وحدث في كون ميت.

وبدلًا من ذلك، يمكن لحضارة ما مستقبلية -ربما من نسل البشر أو الصراصير[٢] التي علىٰ قيد الحياة في يومنا هذا- أن تستخرج هذا الوقود المتبقي. ولكن سيكون لديها وقت محدود جدًّا للقيام بهذا.

وباعتبار هذه المقاييس الزمنية الطويلة، تشتغل الأحداث التي قلما تقع في الحياة اليومية مكانة مركزية. فعلىٰ سبيل المثال، سبق وأن رأينا كيف يمكن للقوة الضعيفة أن تحول الجسيمات. وإذا ترك النيوترون لمفرده، فإنه يبقىٰ لمدة ١٥ دقيقة قبل أن يضمحل إلىٰ بروتون وإلكترون ونيوترينو. ولكن ماذا عن البروتون -الذي هو أخف الباريونات- هل هو مستقر؟ يمكن للنيوترون أن يضمحل لأنه

---

(١) آدامز ولاكلين (١٩٩٧).

(٢) يبدو من كلام المؤلف الإشارة إلىٰ التطور -كما سيتضح لاحقا- وهو ما لا نسلم له به، لكن علىٰ كل حال فهو افتراض خيالي يوضح لك مدىٰ الدقة والضبط الدقيق المتناهي في خلق الكون والذي يجعل البعض قد يلجأ لافتراضات معقدة وساذجة عقليًا لتفسيره، في حين أن الأمر لا يحتاج سوىٰ لافتراض واحد سهل وبسيط ويتفق مع العقل السليم والفطرة الصحيحة وهو الخالق ﷻ -المترجم-

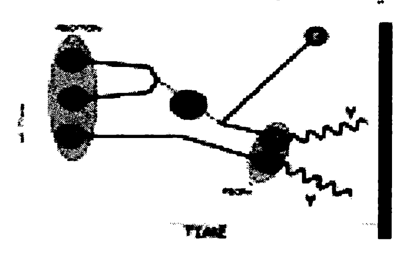
أثقل قليلًا من البروتون، ولذا من الممكن جدًّا له أن يتحول إلىٰ بروتون وقليل من الجسيمات الأخرىٰ. وعلىٰ ما يبدو، فإن البروتون لا يمكنه ذلك؛ لأنه أخف أعضاء نوعه من الجسيمات -تلك التي بها ثلاثة كواركات (الباريونات)- ولذا ليس لديه قريب أخف منه يمكن أن يضمحل إليه.

ولكن ماذا لو تركت البروتونات وشأنها لفترات زمنية هائلة، هل بوسعها خرق القواعد؟ ماذا لو كان بوسعهم التحول إلىٰ شيء ما غير أقاربهم الكواركات؟ سوف يتطلب هذا قوة طبيعية جديدة؛ لأنها ما من قوة معروفة تسمح بهذا. ولكن هذه القوة من شأنها أن تكون الحلقة المفقودة التي توحد القوىٰ القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية؛ ولهذا السبب يتناول الفيزيائيون هذه الفكرة بجدية. فهذه القوة المتناهية في الضعف ستحول الكوارك السفلي في البروتون إلىٰ إلكترون، بينما تحول أحد الكواركات العلوية إلىٰ جسيمه المضاد، وهو مضاد الكوارك العلوي. وسرعان ما يهرب الإلكترون لأنه غير مقيد بالقوة القوية، بينما تشكل الكواركات العلوية ومضادات العلوية (π^0)، وهو ميزون يدعىٰ بيون، وهو جسيم سرعان ما يضمحل إلىٰ فوتونين، وبهذا يتلاشىٰ البروتون.

وهذه القوة -التي تدعىٰ س (X)- لديها خصائص تختلف عن أي من القوىٰ الأساسية الأربعة. حيث يظهر الشكل ٢٢ كيف يمكن للقوة س تحويل الباريون (المكون من كواركات) إلىٰ ليبتون، وهذه خاصية لم نلاحظها لدىٰ أي من القوىٰ الأخرىٰ. وقد بحث الفيزيائيون عن العلامات المميزة لاضمحلال البروتون، ولكنهم لم يروا شيئًا إلىٰ الآن. وهذا قد يعني أن هذه القوة غير المعروفة لا توجد فعليًّا، بيد أنه قد يعني أيضًا أن تلك القوة ضعيفة للغاية، ونتيجة لذلك فإن المدة الزمنية التي يستغرقها اضمحلال البروتون طويلة جدًّا. حيث تفيد أفضل التقديرات التي لدينا الآن أن البروتونات تبقىٰ لمدة لا تقل عن $١٠^{٣٢}$ سنة.

وبينما تبدو المدة $١٠^{٣٢}$ سنة طويلة للغاية، إلا أنها لا تعني شيئًا بالمقارنة إلىٰ مستقبل الكون الذي لا ينتهي. فكل ما علينا هو الانتظار، وفي النهاية ستضمحل البروتونات، وسوف يبدأ انصهار المادة إلىٰ بحر لا شكل له من

الإشعاع ذي الطاقة المنخفضة والنيوترينوات وقليل من أثر الجسيمات الأخرىٰ. وسوف يزيد توسع الكون من إضعاف هذه الطاقة ذات الانتشار المحدود. وبتعرض الكون لسواد أبديٍّ، سيكون قد مات فعليًّا.



شكل ٢٢: مخطط فاينمان لاضمحلال البروتون المحتمل، الذي تحكمه قوة لم تكتشف بعد، والتي تنشأ إثر بوزون جديد يدعىٰ س.

وسوف يستحق كوننا رثاءً. ففي غضون ما يقارب $١٠^{١٠٠}$ عام التي بين ميلاده وتبخر آخر ثقوبه السوداء، سيكون مخزون طاقته قد أجرىٰ جميع أنواع العمليات. تذكر أن تلك العمليات تشمل كل ما يستهلك طاقة، بدء من عمل كأس من الشاي وشربه، إلىٰ محاولة الكتابة أثناء جلوسك في قطار سيدني الذي تدفعه الكهرباء التي تحصل علىٰ طاقتها من ضوء الشمس المكثف علىٰ هيئة أخشاب حفرية محترقة، والتي زودتها التفاعلات الكيميائية بالقوة في قلب سحابة منهارة من الغازات تعرف بالشمس. حيث تستخدم كل خطوة نحو القليل من مخزون الكون الشاسع من الطاقة الحرة، مما يقلص قدرة الكون علىٰ فعل أشياء مفيدة.

ويشير ارتفاع الإنتروبيا علىٰ مدار عمر الكون إلىٰ أن بدايته ذات الإنتروبيا المنخفضة. في الواقع، لا بد وأن كوننا قد نشأ مع كمية كبيرة من الطاقة الحرة لقيادة النجوم والحضارة وغيرها. يبدو أن البداية االمميزة لكوننا قد أزعجت العديد من العقول العظيمة، ولذا عليك إحضار كأس مركز من الشاي. فنحن سنبدأ من البداية.

تذكر أن كوننا في لحظاته الأولىٰ كان عبارة عن بحر سلس من البلازما الساخنة، التي بها إلكترونات وأنوية وإشعاع، وجميعها يهتز معًا. وهذا البحر العديم الملامح كانت درجة حرارته شبه موحدة، ولذا قد تظن أنه كان لديه القليل من الطاقة الحرة. فقد ذكرنا سلفًا أننا بحاجة إلىٰ درجات حرارة مختلفة للقيام بأشياء مفيدة، أليس كذلك؟ ومع ذلك، فقد أهملنا أهم ما في الأمر: وهو الجاذبية.

فالجاذبية تجعل الكتلة تجذب الكتل الأخرىٰ. ولذا كان الكون في مراحله الأولىٰ في حالة حركة، مع وجود كتل صغيرة من المادة التي تجذب غيرها. وفي وجود مجموعة مناسبة من الآلات، أمكن استخراج طاقة تلك الحركة. فحين تنهار كتلتين من المادة في بعضهما البعض، نكون قد استخلصنا الطاقة المتاحة بفضل الجاذبية.

ولذا فإن ترتيب المادة الأنفع -وفقًا لمنظور الجاذبية- هو الانتشار. إن توزيع المادة بسلاسة هو في الواقع حالة ذات إنتروبيا منخفضة؛ أي أنه حالة من الترتيب.

وكلما تكتلت المادة في صورة نجوم وكواكب ومجرات، تزداد إنتروبيتها وتصبح أكثر فوضوية. وسوف نلقي نظرة أقرب علىٰ كيفية تشكل المجرات والنجوم لدىٰ كوننا في الفصل القادم. ولكن تناول رشفة من الشاي وانظر في إنتروبيا الكون لبرهة. فالكون الذي تراه مرتبًا من حولك علىٰ ما يبدو، -الذي يحوي أبنية مهمة للحياة ولوجودك- هو في الحقيقة بقايا مضمحلة لحالة أكثر ترتيبًا كانت موجودة في مراحل الكون الأولىٰ.

ما الذي كان سيحدث لو أن الكون لم ينشأ في حالة ذات إنتروبيا منخفضة؟ كيف كان سيبدو ذلك الكون؟

من المعلوم أن تطبيق مفاهيم مثل الإنتروبيا علىٰ الكون بأكمله أمر صعب، ولكن يمكن لحجة بارعة لروجر بنروز **Roger Penrose** من جامعة أكسفورد أن

تساعدنا كثيرًا[1] تأمل كونًا -علىٰ عكس كوننا- لا يتوسع إلىٰ الأبد وإنما ينهار في «انسحاق كبير»، شأنه شأن الانفجار الكبير، ولكنه يسير في عكس الاتجاه. غير أن الانسحاق سيحدث بعد مليارات قليلة من السنين علىٰ مرور العمليات التي تزيد من الإنتروبيا، وهذه قضية حاسمة. فبدلًا من حدوث انفجار كبير سلس في عكس الاتجاه، سيمتلئ الكون قبل الانسحاق بثانية واحدة بالكتل والصدمات والثقوب السوداء.

والآن تأمل هذا الكون الوعر المنسحق، ولكن في حالة توسعه وليس انكماشه. هذا ما سيفعله انفجار كبير ذو إنتروبيا مرتفعة. فقد كان من الممكن أن ينشأ الكون ومادته حبيسة الثقوب السوداء. وهذا سيسلب الكون كثيرًا من طاقة جاذبيته التي في النهاية تمد الحياة بالطاقة. فكل ما سيحدث في تلك الأكوان هو أن الثقوب السوداء سوف تتبخر علىٰ مدار آلاف مؤلفة من السنين، مالئة الكون بإشعاع ذي طاقة منخفضة وغير صالحة للاستخدام. ولذا فإن احتمالية استمرار الحياة في كون كهذا مخيبة للآمال نوعًا ما.

في الواقع، إن إنتروبيا كوننا أقل بكثير مما تستلزم الحياة. فنحن لا نعيش علىٰ جزيرة صغيرة ذات نظام وسط بحر ذي فوضىٰ. والحياة علىٰ أقصىٰ تقدير تحتاج إلىٰ مجرة ذات نظام لإنشاء المواد الكيميائية والنجوم المناسبين، ويمكن لسائر الكون أن يكون ذا إنتروبيا مرتفعة، ومليء بالثقوب السوداء والإشعاع، من دون أن نأبه له. ومع هذا فإن كوننا منظم وفقًا لما ترصده أعيننا وتلسكوباتنا.

وهذا النظام مفرط للغاية من منظور إنتروبي. فقد حسب بنروز احتمالية أن يكون سائر الكون منظم جدًّا. وقد بدأ بافتراض أن الحياة هنا بحاجة إلىٰ منطقة منظمة تبلغ عشر الحجم (الطولي) للكون الذي نراه. والذي يبلغ بعض مليارات السنين الضوئية، ولذا فمن المؤكد أنه تقدير مبالغ فيه جدا. والآن، فإذا كان الكون الفسيح مرتبًا وفقًا لإنتروبيته (إن صح التعبير)، بحيث تكون ترتيبات

---

(١) بنروز (١٩٧٩).

الإنتروبيا المرتفعة أكثر احتمالًا من الإنتروبيا المنخفضة، فما هي احتماليات كونه مرتب علىٰ نفس القدر الذي عليه محيط مجرتنا؟ وفقًا لحسابات بنروز، فإنها: 1 في $١٠^{١٠^{١٢٣}}$.

وهذا رقم كبير جدًّا لدرجة أنك لو كتبت صفرًا علىٰ كل جسيم في الكون المرصود، ستظل عاجزًا عن كتابة جميع الأعداد التي في هذا الرقم. في الواقع، ستحتاج إلىٰ نحو 10^{43} كون مليئة بالجسيمات لكي تكتب هذا الرقم وحسب. وهنا، نقترح أن تقضي دقيقة في التفكير بشأن مدىٰ ضخامة تلك الأرقام واقعيًّا.

فماذا نحن فاعلون برقم بنروز؟ في جزء ما من افتراض بنروز، وضع افتراضًا أسفر عن احتمالية واقع حقيقي متناهية في الصغر. فما هو ذلك الافتراض؟

سوف نعرج ثانية علىٰ حسابات بنروز في الفصل الأخير، ولكن في الوقت الحالي علينا تقدير أن الكون الذي نرصده من حولنا يحوي قدرًا هائلًا من النظام. حتىٰ إن النظام الذي لا تحتاج إليه الحياة علىٰ الأرض -وإنما نراه في الكون الفسيح وحسب- هائل جدًّا لدرجة أنه يصعب الاعتقاد بأنه محض نتاج الصدفة.

ربما تكون قد استنفدت كأس الشاي وتتمتم الآن بأن هذا تفكير لا طائل منه. من الواضح أن الكون لا بد وأن يكون قد نشأ في انفجار عظيم متجانس. والآن، ارجع بتسلسل أفكار إلىٰ الفصل الأول. ثمة أمور أخرىٰ تتعلق بأي نظرية سوىٰ القوانين؛ فالظروف الأولية علىٰ نفس القدر من الأهمية. فالقوانين تصف تغير الأشياء المادية، والظروف الأولية توفر نفطة البداية.

ولذا فإن النظريات العلمية لا تتنبأ بظروفها الأولية. وإنما من المؤكد أن بداية الكون هي الظرف الأول الحتمي. فكيف لبنروز إذن أن يقول إن بداية الكون -بكل ما فيها، وكل ما لديها من الطاقة الحرة- غير مرجحة؟

ثمة سببين: الأول، هو أننا لسنا علىٰ ثقة تامة بأن الانفجار الكبير كان بداية الكون. فلو أتىٰ شخص ما بنظرية بديلة تصف ما حدث في مراحل الكون

الأولىٰ وتفسر سبب بدايته علىٰ هذه الحالة التي تبدو مخصصة؛ فإن هذا قد يفسر لغزًا كبيرًا. ومع ذلك، فإن الاحتمالات ليست في صالح هذا المسلك. فبالنظر إلىٰ القانون الثاني للديناميكا الحرارية الذي ينص علىٰ زيادة الإنتروبيا وحسب- فإن أي تفسير لبدء كوننا من حيث كونه في حالة سابقة سيحتاج إلىٰ أن تكون تلك الحالة أكثر تخصيصًا من الأولىٰ!

الثاني، أن استنتاجنا بأن بداية الكون غير مرجحة يعتمد علىٰ فهمنا للفيزياء. فقد ذهب بنروز -علىٰ سبيل المثال- إلىٰ أن حساباته تظهر وجود قانون جديد من قوانين الطبيعة ينص علىٰ أن المنفردات الأولية للانفجار الكبير initial Big Bang singularities لا بد وأن تكون سلسة. وقد لا نستوعب كيفية تطبيق مبدأ الإنتروبيا علىٰ مراحل الكون الأولىٰ كما ينبغي. وقد تعوزنا أحد جوانب الفيزياء المهمة.

فهذه هي الخيارات التي يقودنا إليها الضبط الدقيق لأجل الحياة. وعلىٰ حد علمنا، توجد العديد من الطرق التي قد ينشأ بها الكون، والتي لديها إنتروبيا أكبر بكثير عند البداية، ولذا فإن لديها القليل جدًّا من الطاقة الحرة. حيث إن الوفرة التي لدينا جراء بدايتنا ذات الإنتروبيا المنخفضة مذهلة جدًّا بالنظر إلىٰ ما كان ممكنًا أن يحدث. فعلينا أن نواصل سؤالنا: لماذا؟

سنترك هذا السؤال عالقًا عند هذا الحد لا لأننا نعرف الجواب علىٰ كل حال. ولكن ثمة المزيد مما ينبغي أن نقوله، ولذا سنعرج علىٰ الإنتروبيا عند حديثنا عن التطور الكوزمولوجي بمزيد من التفصيل في الفصل التالي. ولكن من المهم إدراك أن الاتزان الدقيق ليس مقصورًا فقط علىٰ الخصائص الأساسية لقوانين الفيزياء، أي كتل الجسيمات وشدة القوىٰ. فبفضل الجرعة القصوىٰ من حظ المبتدئين، فكوننا يزخر بوفرة من الطاقة الحرة التي قادت العمليات التي سمحت بوجودنا هنا. حيث إن سؤال الضبط الدقيق لا ينطبق علىٰ الكون الذي نراه من حولنا وحسب، بل علىٰ كل ما أنجز آلية عمل الكون في المقام الأول.

٥- الكون يتوسع

حان الوقت للاستفاضة وإبراز الصلة بين الحياة والكون بأسره. حيث سنرىٰ كيف يتوسع الكون ويبرد -عقب بدايات يسيرة- مشكِّلًا مجرات ونجوم وكواكب. وسوف نرىٰ منشأ مادتنا، ونتأمل المادة المظلمة والطاقة المظلمة، ونفهم كيفية تفسير النظريات الكونية لهذه النشأة منذ لحظاتها الأولىٰ.

وقد بحثنا -حتىٰ الآن- مسألة النتائج المترتبة علىٰ حدوث تغير في الكتل والقوىٰ الأساسية. حيث يمكن للنتائج أن تكون كارثية، لأنه من الممكن تغيير مكونات الكون جِذريًّا، وجعله غير مواتٍ لحياة الإنسان. وقد رأينا أيضًا أن قليلًا من الضبط من شأنه أن يجعل الكون غير موات لأي من صور الحياة التي بوسعنا إدراكها أو تصورها. وها قد حان الوقت لإلقاء نظرة شاملة من خلال الرجوع بالزمن لقليل من مليارات السنين الضوئية وتأمل الكون بأسره.

التعريف بالكون

قد يكون من السهل نسيان أننا نعيش علىٰ سطح كوكب صخري صغير، يقع بدقة علىٰ بعد نحو ١٥٠ مليون كيلومتر من نجم مثالي. حيث يُحوِّل هذا النجم -الشمس- بنشاط ٦٠٠ مليون طن من الهيدروجين إلىٰ الهيليوم لدىٰ باطنه كل ثانية، إلىٰ أن يصدر طاقة في صورة ضوء الشمس الذي يعبر الفضاء ويصطدم بسطح الأرض، فيدفئها ويمدها بمصدر الطاقة الحتمي للحياة علىٰ كوكبنا.

وليست الشمس هي النجم الوحيد في كوننا، وإنما هي موجودة ضمن نحو ٢٠٠ إلىٰ ٤٠٠ مليار نجم في مجرة تدعىٰ درب التبانة[١] وهي مجرة هائلة يستغرق الضوء للعبور من أحد جوانبها إلىٰ الآخر نحو ١٠٠٠٠٠ سنة، وهي أيضًا ذات أبنية وفيرة؛ حيث تقع الشمس في قرص مسطح من النجوم، ذي أذرع حلزونية مضاءة بفعل النجوم الناشئة حديثًا. ويقع النتوء في مركز المجرة، وهو عبارة عن تجمع من النجوم الأقدم ذات شكل يشبه الكرة. ويحيط بالمجرة هالة نجمية هشة، بعضها من أكبر النجوم التي نعرفها عمرًا، والتي لا بد وأن تكون قد تشكلت خلال مراحل الكون الأولىٰ.

ونحن علىٰ دراية بأن ما لا تدركه العين من مجرة درب التبانة أكثر. فبالإضافة إلىٰ الذرات المحتجزة داخل النجوم والكواكب، فإن المجرة يتخللها سحب الغاز، ومعظمها من الهيدروجين والهيليوم مع آثار بعض العناصر الأخرىٰ. وهذه العناصر هي بقايا أجيال سابقة من النجوم التي تسرب غازها إلىٰ الفضاء عقب بلوغ الحياة النجمية نهاية مطافها، وهي أيضًا تشكل جزءً مهمًا من المادة الخام التي تشكل الجيل التالي من النجوم. وفي حين أن تلك الغازات عادة ما تكون غير مرئية بالنسبة للعين المجردة، إلا أن النجوم القريبة المضيئة من شأنها أن تجعلها تبرق وتصير مرئية مثل السدم الكوكبية الجميلة. ولكن حتىٰ عند كونها غير مضيئة، يمكن لهذا الغاز أن يصدر موجات راديو ترصدها أطباق التلسكوبات حول الكوكب. فمن خلال تلسكوبات ردايوية، سنرىٰ قرص مجرة درب التبانة يشع بريقًا ذا غيوم دائرية من الغاز الذي يدور حول مركز المجرة.

وفي حين أنه من الصعب رؤية الغاز الذي في مجرة درب التبانة، إلا أننا علىٰ علم بوجود مكون آخر أكثر تعذرًا للرؤية. حيث إن المجرة متماسكة بفعل

---

(١) قد تصيبك صدمة بمدىٰ فقر معلوماتنا عن العدد الكلي للنجوم في مجرة درب التبانة، وكيف أننا غير متأكدين من عددها بمعامل يبلغ ٢؟ حيث تكمن الاشكالية في أن معظم النجوم ضئيلة وقزمة، ومن الصعب رؤيتها ومن ثم عدها. ولو شئت ضرب مثال لهذا بالثدييات، فالفيلة ظاهرة بوضوح ويسهل عدها، أما الفئران -علىٰ الجانب الاخر- فقد تكون أكثر بكثير ولكن من الصعب جدًّا حصرها بسبب طبيعتها المراوغة.

هالة عظيمة من المادة المظلمة، والتي لا يمكن رصدها إلا من خلال جاذبيتها الهائلة. غير أن كلمة «هالة» وصف قاصر لموقع المادة المظلمة، فهو يوحي بأنها تقع بصورة ما تشبه كعكة ملائكية (ذات أجنحة). فهي في الواقع كرة كبيرة من المادة المظلمة التي تنفذ مباشرة إلىٰ منتصف المجرة، وتزداد كثافتها بسرعة.

من الجدير بالذكر أن المادة المظلمة dark matter ليست شيئًا غريبًا نادر الوجود، بل هي منتشرة في المجموعة الشمسية، بل وحتىٰ الغرفة التي تجلس فيها الآن، أو القطار الذي تستقله، أو حتىٰ الشجرة التي تلهو دونها. وإنما لا تشعر بها بسبب الكتل الكبيرة لكل من الشمس والأرض في محيطك. في الواقع، إن الجاذبية المهمة لهالة المادة المظلمة هي وحدها التي تحفظ للشمس موقعها في مدارها حول مركز مجرة درب التبانة Milky Way. ولو اختفت جميع المادة المظلمة من فورها؛ لغادرت الشمس المجرة بسرعة فائقة، ولانتهىٰ عمرها في ظلام الفضاء الذي بين المجرات.

ولا تتوقف أبنية الكون عند مجرة درب التبانة. فقد أظهرت التلسكوبات أن هذه المجرة ليست وحدها في الكون، وإنما علىٰ امتداد بصرنا في جميع الاتجاهات، توجد مليارات المجرات الأخرىٰ. وبعضها له حجم مقارب جدًّا لحجم مجرة درب التبانة، ومن ذلك مجرة المرأة المسلسلة Andromeda Galaxy المجاورة لنا، والتي يفصلنا عنها مليوني سنة ضوئية فقط.

وشأنها شأن النجوم، فإن لدىٰ المجرات مدىٰ معين من الأشكال والأحجام، حيث يشترك في مجموعتنا الكونية نحو مائة مجرة أصغر، تعرف بالأقزام. ويمكن رؤية المجرات الأشد سطوعًا والأكثر قربًا بأعيننا المجردة، ومن ذلك مجرة سحابة ماجلان الكبرىٰ Large Magellanic Cloud، إلا أن معظمها ضئيلة، ليس بها سوىٰ بعض عشرات ومئات ملايين النجوم. وتعرف عائلة المجرات السعيدة تلك التي بجوارنا، وتربطها جاذبيتهم المتبادلة بالمجموعة المحلية Local Group.

في الواقع، إن معظم المجرات التي في الكون تعيش في مجموعات كهذه، وأحيانًا يكون معها القليل من المجرات الكبيرة، بيد أنه كثيرًا ما يكون معها الكثير من المجرات القزمة dwarfs. ولكن إذا عاشت المجرات في مجموعات مرتبطة، فلا بد من وجود بقع أكثر فراغًا في الكون بينها. وهي سائدة جدا، وفي حين أننا كثيرا ما نرىٰ مجموعات مجرية مصطفة في تسلسل يشبه الحبات الملتفة علىٰ سلسلة، إلا أن بينها توجد فراغات كونية ذات خلاء نسبي.

ويمكن لأوتار المجرات والمجموعات -التي يفصلها الفراغات- أن يقطع كل منها الآخر، حيث تعتبر شبكة المجرات بناء يشبه النسيج. وحيثما تحدث تلك التقاطعات، نعثر علىٰ أكبر الأبنية المرتبطة وأضخمها في كوننا هذا، ألا وهي عناقيد المجرات galaxy clusters. والتي من شأنها أن تكون ضخمة وتحوي عشرات آلاف المجرات المفردة، وجميعها يهتز في هالة من المادة السوداء شديدة الثقل والتي تجعلهم متماسكين. وفي قلوب تلك العناقيد، توجد مجرات بالغة الثقل، والتي لا بأس في تسميتها (cD)، وكثيرًا ما تحوي عشرات عديدة من تريليونات النجوم.

والخلاصة التي عليك أن تخرج بها من هذا النقاش هي أن الكون محكم البناء علىٰ نطاق شاسع من المستويات، بدءً من الكواكب المفردة والمجموعات الشمسية، وحتىٰ حجم الشبكة الكونية التي تغطي مليارات السنين الضوئية.

وها نحن الآن أمام سؤال يطرح نفسه، ألا وهو «من أين أتىٰ كل هذا البناء؟»

هل من الممكن أن يوجد الكون أزلًا علىٰ هذا النحو؟ في حين أن هذه الفكرة ربما تكون مطمئنة، إلا أننا علىٰ مدار المائة عام الماضية أو نحو ذلك، أدركنا أن الكون ليس ساكنًا ولا ثابتًا، وإنما هو في الواقع ديناميكي -متحرك- ومتطور، حيث نشأ في حساء الانفجار الكبير الساخن الذي ليس له شكل جوهري، وتغير علىٰ مدار الزمن الكوني إلىٰ الكون الذي نراه حولنا اليوم.

فضيحة الكوزمولوجيا

من خلال كلام علم الكونيات Cosmology عن توسع الفضاء وتحدبه، والطاقة المظلمة والمادة المظلمة، والإشعاع الكوني، والانفجار الكبير»، لا ضير في أن يظن المرء أن علم الكونيات -دراسة الكون بأسره- عبارة عن كابوس من التعقيد. في حين أن سر مهنة علم الكونيات هو اقترب قليلًا لأهمس في أذنيك اقترب أكثر «أن الكون بسيط». بسيط علىٰ نحو صادم ومحيِّر. حتىٰ إننا لا نستطيع تصديق أننا توصلنا إلىٰ هذه الدرجة من البساطة.

وقد يكون من المدهش لك أن تعرف أن كل من درس الفيزياء يعلم أن الأمر يزداد تعقيدًا ويزداد تعلقه بالرياضيات ويصبح أكثر تجريديًّا كلما تعمقت فيه. فالجبر يفسح الطريق لحساب التفاضل والتكامل. وحساب التفاضل والتكامل يصير إلىٰ تحليل المتجهات، وتتحول المتجهات إلىٰ موتِّرات tensors. حيث تبدو الفيزياء بحرًا لا يسبر غوره من الرياضيات. وتكمن نظرية الحقل الكوانتم quantum field theory في أعماق هذا البحر، والتي هي أساس فيزياء الجسيمات الحديثة، وكذلك نظرية آينشتاين العامة للنسبية[١] General Theory of Relativity والتي هي الإطار الرياضي لعلم الكونيات. فأنَّىٰ لهذا أن يكون بسيطًا؟

---

(١) تنبيه، كثيرا ما تُترجم تلك العبارة إلىٰ نظرية النسبية العامة وهي ترجمة خاطئة توحي بمعنىٰ خاطئ والصحيح أنها النظرية العامة للنسبية، المترجم

لنفسر الأمر[١] إن نظرية آينشتاين العامة للنسبية تربط هندسة الزمكان[٢] spacetime بالطاقة (بشتىٰ صورها، بما في ذلك المادة) التي تحويها. فالأمر أشبه بأنك تخبر أينشتاين بموقع المادة، وهو بدوره سيخبرك بكيفية تشابك الزمكان والتوائه.

ويتجلىٰ تحدب الزمكان هذا في صورة الجاذبية. فالجاذبية ليست ببساطة قوة تجذب الجسيمات وتجعلها تنحرف. وإنما تسير الأجسام المتحركة تحت تأثير الجاذبية في خطوط مستقيمة محليًّا؛ وتعرف تلك المسارات بالخيوط الجيوديسية geodesics، حيث تشوه الطاقة نسيج الزمكان الذي يقع دونها. فالجاذبية لا تدير عجلة القيادة، وإنما تُكدِّس المنحنىٰ.

وتطل التروس وملفات الزنبرك علىٰ النسبية العامة، والتي تحول الطاقة إلىٰ هندسة زمكانية، حيث نعثر علىٰ منظومة مكونة من ١٠ معادلات مزدوجة تفاضلية جزئية غير خطية. وبالنسبة لغير المطلع علىٰ الرياضيات، يبدو هذا كما لو أنه يسمع طبيب الأسنان يقول «قناة العصب»، أو ميكانيكي السيارة يقول «جوان وش سلندر»، فرغم أنه قد لا يدري ما تعنيه تلك الكلمات، إلا أنه علىٰ يقين بأنه علىٰ موعد مع العناء.

وعند تطبيق تلك المعادلات علىٰ الكون بأسره، يبدو الأمر تفاءلًا علىٰ أحسن الأحوال وجنونًا علىٰ أسوئها. ولذا قام علماء الكونيات في عشرينات وثلاثينات القرن العشرين -أي في بداية النسبية- بما ينبغي لأي فيزيائي ماهر القيام به؛ فقد أفرطوا في التبسيط. حيث افترضوا أنه علىٰ مستويات كونية كبيرة بما يكفي، يصير الكون هو نفسه في كل مكان (متجانسًا) ويبدو ذا مظهر مماثل

---

(١) للمزيد، انظر ((Barnes (2014).

(٢) الزمكان هو نسيج الكون رباعي الأبعاد ثلاثة أبعاد مكانية وبعد رابع للزمان فهو مصطلح منحوت من الزمان والمكان، وقد تم الاصطلاح عليه بعد أن بين آينشتاين أن الزمان والمكان نسبيان ويتأثران ويؤثران بالأحداث التي تحدث خلالهما بعكس تصور نيوتن القديم بأنهما مطلقين ومستقلين كمسرح الأحداث لا يتأثران بما يحدث خلالهما، المترجم

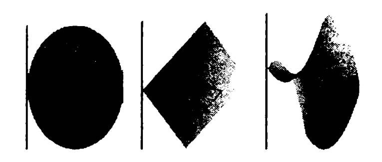
لدىٰ جميع الاتجاهات (متناظرًا). وقد حصل هذا الافتراض علىٰ لقب رفيع: «المبدأ الكوني» ولكن لنكن صرحاء، إنه تخمين متفائل، ونموذج لدمية، وإشكالية ممارسة عملية. فلا يمكن للكون الواقعي يقينًا أن يكون بهذه البساطة. فقد حذر عالم الكونيات هيربرت دينجل Herbert Dingle (1953), p. (406) علماء الكونيات زملاءه ألا يبالغوا في تضخيم محض افتراض، وذلك في عبارته الشهيرة: «سموا المسحاة مسحاة، ولا تسموها مبدأ زراعيًّا مثاليًّا».

وقد أسفر ذلك عن نموذج فريدمان ولوميتر وروبرتسون ووكر (FLRW)، ولم يكن فريدمان ولوميتر وروبرتسون ووكر عضوًا رباعيًّا ضمن النبلاء البريطانيين، وإنما كانوا أربعة من عمالقة علم الكونيات الحديثة وهم: ألكساندر فريدمان Alexander Friedmann، وجورج لوميتر treáGeorges Lem، وهوارد روبرتسون Robertson .Howard P وآرثر ووكر Arthur G. Walker. وقد تبين أن هذه الصورة البسيطة هي كل ما احتجنا إليه. وخلال المئة عام الماضية من عمر الكون الحديثة، تم بحث تعقيدات متنوعة لنموذج (FLRW)، ولم يتفوق أيٌّ منها علىٰ النموذج الأصلي. فلقد بلغ الكون من البساطة قدر ما تمنينا. فمن الناحية العملية، يمكن تفسير كل ما رصدناه عن الكون ضمن هذا الإطار الرياضي، الذي يمكن كتابته كاملًا في صفحة أو صفحتين.

ومرة أخرة، ربما تقوم الآن بحك رأسك مستغربًا؛ لأن علم الكونيات يبدو مجالًا متغيرًا إلىٰ الأبد. فلا يكاد يمر أسبوع من دون أن ينشر الإعلام خبرًا عن شيء ما رصد حديثًا مما أدىٰ إلىٰ ثورة في فهمنا للكون. (حتىٰ إن هذا الأسبوع لم يشذ عن القاعدة.) ولكن بينما تخبرنا تلك الملاحظات عما يحدث داخل الكون، لا يزال الإطار الرياضي الأساسي هو نفسه الذي وضعه علماء الكونيات في عشرينات وثلاثينات القرن العشرين! وقد يصدم هذا الأمر غير المتخصصين في هذا المجال، ولكن عليك أن تتجول في مكتبة الجامعة وتتناول أي كتاب عن النسبية العامة، وتتصفح مجال علم الكونيات وتلقي نظرة سريعة. وستجد أن البناء الرياضي لعلم الكونيات بسيط علىٰ نحو مخادع!

الانحناء والتوسع

يصف نموذج (FLRW) خاصيتين من خصائص زمكان الكون بأكمله. أولاهما هي هندسة الزمكان[1] ففي القرن التاسع عشر، أظهر عالم الرياضيات نيكولاي لوباتشيفسكي Nikolai Lobachevsky (الذي يشبه كوبرنيكوس في الرياضيات، أو الأقل اقتصارًا علىٰ الفلك إلفيس بريسلي عالم الرياضيات، ممن اشتهروا بإحداث ثورة علمية في مجالاتهم) أنه ما من شيء تتفرد به الهندسة الإقليدية أو المسطحة؛ أي الهندسة المعتادة التي يدرسها طلاب المرحلة الثانوية والتي تبلغ فيها مجموع زوايا المثلث ١٨٠ درجة، وفيها أن الخطوط المستقيمة لا تتقاطع أبدًا. حيث تنبئ الرياضيات بنوعين آخرين من الهندسة الثلاثية الأبعاد التي يمكنها وصف الكون، والموضحة في الشكل ٢٣. فالكون بأكمله يمكن أن يكون موجب الانحناء (منحنىٰ في الاتجاه الموجب) مثل نسخة ثلاثية الأبعاد من سطح كروي. أو يكون سالب الانحناء (منحنىٰ في الاتجاه السالب) بما يشبه السرج نوعًا ما. ومن سوء الحظ، أن النسخة الثلاثية الأبعاد لهذه الهندسة يستحيل تمثيلها رياضيًّا في ثلاثة اتجاهات. فإذا كان بوسعك تخيل شكل سداسي الأبعاد، فلتخبرنا كيف يكون.



شكل ٢٣: الأشكال الهندسية الثلاثة الممكنة للكون المتجانس. علىٰ الجانب الأيسر، ثمة فضاء منحنٍ في الاتجاه الموجب. وفي المنتصف، ثمة فضاء مسطح مألوف. وعلىٰ الجانب الأيمن، ثمة فضاء منحنٍ في الاتجاه السالب.

---

(١) النسبية العامة عبارة عن نظرية هندسية؛ ولذا يمكنها إخبارنا بهندسة الزمكان، دون الطوبولوجيا (الخصائص الهندسية والعلاقات المكانية غير المتأثرة بالتغيرات المستمرة للشكل أو الحجم «المترجم»). أي أن النسبية العامة يمكنها إخبارنا بكيفية انحناء الزمكان محليًّا، دون كيفية ارتباطهما عالميًّا.

وانحناء الفضاء ليس مجرد رياضيات بحتة. بل هو قابل للقياس. فإذا كنت في فضاء منحنٍ مكانيًّا، ولديك مثلث كبير جدًّا والكثير من وقت الفراغ، ستتمكن من حساب أن زواياه الداخلية ليست ١٨٠ درجة. وليس مهمًا ماهية مكونات المثلث؛ وإنما يتم رسم الانحناء في الفضاء نفسه.

وتخبرنا نظرية آينشتاين العامة للنسبية بكيفية اعتماد هندسة الكون علىٰ كمية الطاقة التي يحويها. فإذا أفرطت في ملء الكون بالطاقة؛ سينحني في الاتجاه الموجب، لك أن تتخيل عاقبة عشاء كبير. أما إذا لم يمتلئ بما يكفي؛ فسوف ينحني في الاتجاه السالب. وعلىٰ الخط الفاصل، تتوقف الهندسة الإقليدية المسطحة؛ كما يبدو الحال في كوننا (علىٰ المستويات الكونية).

ثانيًا، يصف نموذج (FLRW) المستوىٰ المكاني. تخيل قطارًا نموذجيًّا، فإذا تضاعف المستوىٰ؛ تضاعف حجم سائر الأجزاء. وفي حالة الكون، لا يحدث التغير في المكونات، وإنما في المستوىٰ المكاني نفسه. فعلىٰ المستويات الكونية، وخارج نطاق قوىٰ الربط مثل الجاذبية والكهرومغناطيسية، تزداد المسافة بين أي مجرتين بمرور الزمن.

فمكان الكون وزمانه ليسا مجرد ألواح أرضية من الخشب؛ أي ليسا منصة ساكنة للممثلين الحقيقيين. وإنما تنحني خشبة المسرح هذه وتتوسع وتلتوي، مستجيبة للطاقة التي تتدفق خلالها. (يا لها من مسرحية لو كانت كذلك!)

كيف تروض زمكانك!

يمكن تلخيص نظرية أينشتاين العامة للنسبية في أن تدفق زخم الحركة momentum يشكل الزمكان. ولاستيعاب ذلك، سنحتاج إلىٰ فهم زخم الحركة.

نحن علىٰ دراية بزخم حركة عربة تسوق منطلقة. حيث تحدث زيادة زخمها صعوبة أكثر في إيقافها. وفي الفيزياء الكلاسيكية، يعتبر زخم الحركة ببساطة ناتج الكتلة والسرعة. فالأشياء الثقيلة يصعب إيقافها عن الأخرىٰ الخفيفة، والأشياء السريعة يصعب إيقافها عن الأخرىٰ البطيئة[1]

---

(١) تترسخ فكرة أن زخم الحركة هو عبارة عن الكتلة مضروبة في السرعة هي فكرة مترسخة في عقول =

كما يبدو تدفق الزخم مألوفًا علىٰ هيئة الضغط. حيث ينظم ضغط الهواء في الغرفة سرعة ترسيب اهتزاز جزيئات الهواء للزخم علىٰ النافذة. فكلما ازدادت الاصطدامات (أي ازدادت كثافة الغاز)؛ ازدادت سرعة الاصطدامات (أي ارتفعت حرارة الغاز) وكلما ازدادت كتلة جسيمات الغاز؛ ازداد تدفق زخم الحركة وازداد حجم الضغط المبذول.

وبذلك فإن زخم الحركة يصف كيفية حركة الجسيمات عبر المكان. فعندما ننتقل إلىٰ وصف نسبي للحركة، لا بد وأن نضيف عنصرًا آخر، وهو تدفق زخم الحركة في اتجاه الزمن. فما هو؟

إنه أسهل مما يبدو؛ فهو مجرد الطاقة. فالطاقة هي تدفق زخم الحركة عبر الزمن! فكما أن النسبية تجمع المكان والزمان في كيان موحد -الزمكان- فإنها تجمع الطاقة وزخم الحركة في جسم رياضي موحد، يُعرَف المتجه الرباعي للزخم (momentum-4).

والآن، يمكننا العودة إلىٰ مقولتنا السابقة: تدفق المتجه الرباعي للزخم يشكل الزمكان. كما أن جميع أشكال الطاقة والزخم تقع تحت تأثير الجاذبية. وعلىٰ وجه الخصوص، يقع الضغط تحت تأثير الجاذبية. حيث يتجاذب الضغط الإيجابي -مثل ضغط الهواء داخل البالون- تمامًا مثل الكتلة.

باختصار، تملي معادلات أينشتاين توجيهات المشهد علىٰ مختلف أنواع الطاقة والزخم التي يمكنها أن تخطوا علىٰ خشبة المسرح. والآن، نحن بحاجة إلىٰ طاقم الممثلين.

= الطلاب الملتحقين بالجامعة، بيد أن هذا ليس حقيقيًا سوىٰ في الميكانيكا الكلاسيكية، التي تحكم عالم الكتل الكبيرة والسرعات البطيئة. ويستغرق الامر مجهودًا لاقناعهم بأن زخم الحركة عبارة عن مفهوم أوسع، وأنه حتىٰ الضوء -رغم أنه عديم الكتلة- إلا أنه يمكنه أن يحمل زخمًا.

الإعلان الترويجي للكون

لم يكن جمع شخصيات الكون الدرامية عملًا سهلًا. فقد قضيت ليالي عديدة لدىٰ التلسكوبات لإجراء مسح للأجرام السماوية. ولقياس الضوء منذ اللحظات الأولىٰ للكون، تم إرسال مستشعرات الميكروويف نحو الأسفل عند القارة القطبية الجنوبية، ونحو الأعلىٰ في مناطيد، حتىٰ إنها أطلقت نحو الفضاء. وقد استخدم الفلكيون حركات الأجسام الثقيلة في استنتاج وجود المادة المظلمة، بينما تفصح منارات الضوء البعيدة عن وجود الطاقة المظلمة الغامضة. لنلتقي بطاقم المسرحية كله.

حين يتحدث علماء الكونيات عن «المادة»، فإنهم يعنون إحدىٰ صور الطاقة التي غالبًا ما تكون علىٰ هيئة كتلة. فمعادلة أينشتاين الشهيرة ($E = mc^2$) تخبرنا بكمية الطاقة الموجودة في كمية معينة من الكتلة. فكل ما له كتلة يجذب، وينجذب لكل ما له كتلة. كما تضغط المادة علىٰ مكابح توسع المكان، وكلما ازدادت المادة، اشتد الضغط علىٰ المكابح.

وعلىٰ العكس، فإن الإشعاع يُقصد به إحدىٰ صور الطاقة التي ليس لها كتلة، وخير مثال لذلك هو الضوء. حيث إن طاقة الفوتون (جسيم الضوء) تنتج عن محض حركته وحسب. كما أن إشعاع الكون -شأنه شأن مادته- يجذب توسعه، ويجعله يتباطأ. وفي الواقع، نظرًا لأن الفوتونات تمتلك ضغطًا موجبًا إلىٰ جانب الطاقة، فإن ضغط الإشعاع علىٰ المكابِح يكون أشد من ضغط المادة.

وقد قاس الفلكيون كمية المادة والإشعاع في الكون. حيث تشع المجرات بضوء مئات مليارات النجوم مجتمعًا، إلا أن معظم المادة ليس مضاءً علىٰ نحو مذهل جدًّا. كما تشع النجوم البعيدة -التي تستمد وقودها من كميات الطاقة الكبيرة التي تتحرر عندما تنهار المادة للمرة الأخيرة وتتحول إلىٰ ثقب أسود- بشدة لدرجة أننا يمكننا رؤية المادة في صورة ظلية. ويمكننا رؤية ظلال المادة التي لم تجتمع في هيئة مجرات، وذلك فيما بين أشباه النجوم والأرض.

وهذه المادة اللطيفة التي بين المجرات مألوفة لنا -فهي عبارة عن هيدروجين وهيليوم- وغالبًا ما تكون مصحوبة بالقليل من العناصر الأثقل كالأكسجين والكربون والماغنسيوم. ولكن لا يزال ينقصنا شيء ما. فلا يزال أحد أفراد طاقم التمثيل غائبًا عن الأعين رغم نشاطه. فالمجرات تدور بسرعة مفرطة لدرجة أنه لا يمكن للمادة التي نراها أن تجعلها متماسكة. كما أن تكتلات المادة في المرحلة الأولية من عمر الكون لا تنضغط وتعود إلىٰ الحالة الطبيعية كما كان سيحدث لو كانت محض مادة عادية مكونة من البروتون والنيوترون والإلكترون. فحين تتصادم المجرات ومجموعات المجرات؛ ينضغط غازها، وتزداد حرارته ويتوهج، بيد أن معظم كتلتها تتسرب، متأثرة بقوة الجاذبية خلافًا للقوة الكهرومغناطيسية.

فما هي؟ جاوب علىٰ هذا السؤال وستحصل علىٰ جائزة نوبل. فنحن علىٰ علم بأنها المادة؛ أي أن أغلب طاقتها عبارة عن كتلة. ونحن علىٰ علم بأنها لا تتأثر بالقوة الكهرومغناطيسية، مما يعني أنها لا تصدر الضوء أو تنشره. من الواضح أن هذا أمر محبط بالنسبة للفلكيين؛ فكل هذه المادة مستقرة هنالك، ولا ترسل شيئًا لتلسكوباتنا!

فنحن نسميها المادة المظلمة. لك أن تتصورها علىٰ أنها لا ترسل لنا أي مادة مضيئة. ولربما نكون نحن في المادة المظلمة.

بيد أن المادة -المرئية وغير المرئية- والإشعاع الموجودين في كوننا ليسوا كافين لإيقاف التوسع الناشئ في الانفجار الكبير. فقد بدا أن الكون سيظل يتمدد

للأبد، وهو دائمًا ما يتباطأ، ولكنه لا يتوقف أبدًا. فلا يزال شيء ما غائبًا عنا.

وعلىٰ مدار تسعينات القرن العشرين، تراكمت الأدلة التي تشير إلىٰ شيء ما متجاوز لمجرد المادة والإشعاع. حيث نتج الدليل الحاسم عن رصد النجوم المتفجرة، المعروفة بالمستعرات العظمىٰ (السوبر نوفا). فباستخدام معادلات أينشتاين، يمكننا حساب مقدار سطوع تلك المستعرات في تلسكوباتنا، بالنظر إلىٰ تأثير الطاقة في توسع الكون.

حيث يخبرنا أينشتاين بأن كيفية رؤيتنا لشيء ما في الكون يعتمد علىٰ كيفية توسع الكون في الوقت الذي يمضي بين مغادرة الضوء للمصدر ووصوله إلىٰ أعيننا. ولذلك يعتمد مدىٰ سطوع شيء ما أو خفوته علىٰ بنية الكون؛ لأنها هي التي تتحكم في التوسع.

ومن خلال كل المادة التي نراها حولنا في الكون، توقعنا أن توسع الكون يتباطأ. وبذلك توقعنا أن تكون المستعرات البعيدة ذات سطوع معين. وقد رصد فريقان من الفلكيين يقودهما براين شميدت Brian Schmidt، وآدم ريس Adam Riess، وشاول بيرلماتر Saul Perlmutter أن المستعرات في الحقيقة خافتة أكثر مما يُتوقع. وهي -في الواقع- خافتة جدًّا لدرجة أن الكون لا يبدو أنه يتباطأ علىٰ الإطلاق. وتخبرنا معادلات أينشتاين أن التوسع لابد وأن يكون متسارعًا.

هنا يكمن اللغز. فجميع الجسيمات التي سبق وأن رأيتها، والتي سبق وأن رآها الفلكيون من خلال تلسكوباتهم، وتلك التي أنتجناها في مسرعات الجسيمات تسبب إبطاء توسع الكون. بيد أن توسع الكون يتسارع. فالمشهد يسير علىٰ نحوٍ لا يمكن لممثل معروف أن يحدثه.

فما الذي يجري هنالك؟

نحن بحاجة إلىٰ ممثل آخر: حيث يلزمنا شخصية غريبة الأطوار لأداء دور بطولي في تسريع الزمكان. لسنا بحاجة إلىٰ مضيعي الوقت. وقد سمينا هذا الشيء غير المألوف طاقة مظلمة.

ما الذي من شأنه أن يسرع توسع الكون؟

تقدم معادلات أينشتاين حلًّا محتملًا، فهي تقترح أن هذا التسارع يرجع إلىٰ خاصية غريبة من خصائص الزمكان نفسه تعرف بالثابت الكوني. فعندما استنبط أينشتاين معادلاته الشهيرة، واجهته بعض المنعطفات التي كانت في طريقه. ولكونه فيزيائيًّا ماهرًا؛ اختار أسهلها. فعلىٰ سبيل المثال، كان بوسعه افتراض زمكانات متداخلة (تعرف تقنيًّا بالالتواء)، ولكن لم يكن ثم حاجة إلىٰ إضافة هذا التعقيد؛ ولذا فقد تركه.

وفي موضع آخر، كان بمقدوره أن يضيف حدًّا إضافيًّا إلىٰ معادلاته التي اشتملت علىٰ الثابت الكوني. فقد كان أول ما يشغل عقل أينشتاين بشأن معادلاته هو إعادة إنتاج شدة الجاذبية المعهودة لدىٰ المجموعة الشمسية، ونظرًا لأن الثابت الكوني لم يُفد في هذا الأمر؛ تركه أيضًا. فقد سلك أسهل الطرق أولًا

لقد كان أينشتاين عالم عصره، ونظرًا لأنه لم يكن ثم دليل فلكي علىٰ تغير الكون وتطوره، افترض أينشتاين -شأنه شأن غيره- أن الكون ساكن ولا يتغير. ومع ذلك، سرعان ما اكتشف أن معادلاته لن تسمح بوجود كون ساكن؛ لأنه مع وجود قوة الجاذبية وحدها، لن يظل الكون بأسره علىٰ حاله. ولذا قام أينشتاين بعكس استنتاجه، وعاد إلىٰ المنعطف الأخير في طريقه، مضيفًا تعقيدًا آخر. فمع وجود ثابت كوني، يمكنه الحصول علىٰ كون ساكن.

وفي العقد التالي، أظهر الفلكيون فيستو سليفرVesto Slipher، وكنوت لوندمارك Knut Lundmark، وجورج ميتر treáGeorges Lem، وإدوين هابل Edwin Hubble وميلتون هوماسون Milton Humason أن الكون -في الواقع- يتوسع[١] ونظرًا لأن الكون ليس ساكنًا، فليس وجود الثابت الكوني لازمًا ولذا

---

(١) كثيرًا ما يعزىٰ اكتشاف توسع الكون إلىٰ إدوين هابل وحده. ومع ذلك، ثمة قدر هائل من الابحاث علىٰ مدار الاعوام الاخيرة توضح مكتشف كل اكتشاف. وبالطبع، يظل دور هابل مركزيًّا، بيد أن العديد من الفلكيين الاخرين ساهموا بالبيانات المرصودة والادلة، بالاضافة إلىٰ مجتمع من المنظرين الذي يتصدون =

ألقي في «مزبلة التاريخ»، مع غيره من سائر الكليشيهات clichés التاريخية.

ومن المفترض أن أينشتاين عقب ذلك قال عن إقحامه للثابت الكوني إنه «خطأه الأكبر»، ولكن من المهم فهم السبب. فإن ما ندم عليه أينشتاين هو التمسك بسكون الكون. ولو أنه تخلىٰ عن ذلك، لاستطاع التنبؤ بتوسع الكون قبل رصده بسنوات. يا لها من فرصة فائتة! وعلىٰ كل حال، لم يفلح نموذج أينشتاين للكون الساكن. وقد أظهر آرثر إدينجتون Arthur Eddington أن الكون كان شبيهًا بقلم متزن علىٰ نهايته؛ فإن أخف دفعة ستجعله ينهار أو يتوسع.

وفي حين أن الثابت الكوني ليس لازمًا لتفسير توسع الكون، إلا أن الثابت الكوني الموجب يعمل كمضاد للجاذبية. ولذا قد يكون هو عين ما نحتاجه لتفسير تسارع توسع الكون.

ومن جهة أخرىٰ، يمكن لصورة غير معتادة من الطاقة أن تسبب تسارع توسع الكون. وعلىٰ وجه الخصوص، نحن بحاجة إلىٰ إحدىٰ صور الطاقة ذات ضغط سلبي. ليس الأمر غريبًا كما قد يبدو، فالضغط السلبي هو ببساطة عبارة عن شدٍّ. ففي داخل البالون، تحدث حركة الجزيئات التي تصطدم بالمجرات دفعًا للخارج، وهو عبارة عن ضغط إيجابي. أما تمدد مطاط البالون فهو مثال للشدِّ، فهو يقابل دفع الضغط نحو الخارج من خلال محاولته تقليص البالون.

وعلىٰ نحو معاكس، فإن هذا الضغط السلبي مسرع كوني، يقود التوسع أسرع وأسرع[1] وسواءً كان التوسع الكوني المتسارع راجعًا إلىٰ ثابت كوني أو شكل غريب من أشكال الطاقة، يميل علماء الكونيات إلىٰ جمع الفكرتين في شيء واحد: وهي الطاقة المظلمة. وهي اختصار مناسب لما «يُسرّع توسع الكون».

= لنظرية أينشتاين الجديدة (نظرية الجاذبية). ولمزيد من التفصيل، انظر مجموعة من المقالات المنشورة في (Way and Hunter (2013))، ولكتاب (Nussbaumer and Bieri's (2009)) الترفيهي.

(١) ولازالة اللبس، فإن الضغط يدفع للخارج، بيد أنه يجذب الكون نحو الداخل بفعل الجاذبية. أما الشد، فهو يجذب للداخل، ولكنه يزيد من سرعة توسع الكون نحو الخارج. فلا بد من التفريق بين الاثار المباشرة لاختلاف الضغط وآثار الجاذبية التي يحدثها الضغط.

وتكشف ملاحظاتنا بشأن المستعرات البعيدة أن ٧٠ في المائة من الطاقة التي في الكون عبارة عن طاقة مظلمة. فيا ليتنا نعلم ماهيتها!

ومنذ الاكتشاف المبدئي للطاقة المظلمة، زادت موثوقية أدلة وجودها بشكل كبير، حيث يظهر أثرها علىٰ توزيع البناء ذي المستوىٰ الكبير، وضوء إشعاع الخلفية الكونية الميكروي cosmic microwave background (الذي سنلتقيه في الفصل التالي) وحتىٰ حركات المجرات في الكون المحلي.

سيداتي سادتي، دعونا نقدم لكم، كونكم:

- ٦٩٪ من كوننا عبارة عن طاقة مظلمة، والتي يسبب ضغطها السلبي تسارع التوسع الكوني. ولا نعرف ماهيتها.
- ٢٦٪ من كوننا عبارة عن مادة مظلمة. ولا نعرف ماهيتها.
- ٥٪ من كوننا مألوف لدينا، وهو عبارة عن مادة عادية؛ وهي التي صعنت منها المجرات، والكواكب، والبشر، والبروتونات. والكثير من تلك المادة متناثر خلال الكون، ولذا فنحن غير متأكدين تمامًا من موقعه.
- وتمثل النجوم ٣٠ من كوننا (أي ٦٪ من مادتنا العادية)، ويمكننا رؤية بعضها فعليًّا!

وكما الحال بالنسبة للنموذج القياسي Standard Model لفيزياء الجسيمات، فإننا نسمي هذا المثال الخاص لنموذج (FLRW)، والذي يصف كوننا، بعلم الكون القياسي Standard Cosmology.

وبسبب أشكال الطاقة المتنوعة التي تميعت عند مستويات معدلات مختلفة من توسع الكون؛ يتغير المستوىٰ الأعلىٰ. ففيِ المرحلة الأولية للكون، كان الإشعاع هو المشهد الرئيسي. وبعد نحو ١٠٠٠٠٠ سنة، وهن الإشعاع كثيرًا لدرجة أن المادة تستحوذ عليه وتواصل مع جهود الإشعاع في إبطاء توسع الكون.

وبعد انتظار الطاقة المظلمة بفارغ الصبر، بدأت في توجيه التوسع منذ بضعة مليار سنة، محدثة انتقال الكون إلىٰ حالة التوسع المتسارع. حيث نجد أنفسنا في وقت يبذل فيه كلا المكونين المظلمين جذبًا ودفعًا متشابهين علىٰ الكون المتوسع.

يدخل الفوتون، من علىٰ يمين المسرح

كيف لنا أن نعرف مما يتكون الكون، ومقادير مكوناته؟ إن إشعاع الخلفية الكونية الميكروي (CMB) هو بمثابة حجر رشيد بالنسبة لعلم الكونيات. ولاستيعاب السبب في أن هذا الضوء يحمل قدرًا كبيرًا جدًّا من المعلومات حول الكون، نحتاج إلىٰ اقتفاء أثره رجوعًا بالزمن إلىٰ الوراء. وبمساعدة معادلات أينشتاين، يمكننا ضغط زر إعادة التاريخ الكوني.

سنتابع الأعمال البطولية لدفعة نموذجية من فوتونات خلفية الإشعاع الكوني الميكروي القادمة من اتجاه معين في السماء. وبينما توجد المئات من تلك الفوتونات في كل سنتيمتر مكعب من فضائنا اليوم، إلا أنها علىٰ الأغلب تمر مرور الكرام، مضيفة نحو ١ في المائة من «الثلج» الساكن علىٰ جهاز تلفزيوني غير مضبوط علىٰ قناة ما[1] وبالنظر للوراء، نجد أن دفعة فوتونات إشعاع الخلفية الميكروي قد دخلت الغلاف الجوي للأرض منذ ٠.٣ ملي ثانية فقط.

لنعد الشريط الكوني ١٧ ساعة إلىٰ الوراء، ونشاهد ارتداد دفعة فوتونات إشعاع الخلفية الميكروي إلىٰ خارج المجموعة الشمسية إلىٰ الفضاء النجمي الشاسع. من المؤكد أنه يسمىٰ فضاء لسبب ما. فقد طلب جيمز جينز James Jeans -الفلكي البريطاني العظيم- من قراءه أن يتصوروا ثلاثة زنابير يحلقون في الهواء فوق أوروبا؛ قائلًا إن هذا الهواء سيكون أكثر ازدحامًا بالزنابير من ازدحام الفضاء بالنجوم. ورغم وجود غاز وغبار طفيفين بين النجوم، إلا أنهما يبلغان نحو جسيم واحد في مقابل كل ألف فوتون من فوتونات إشعاع الخلفية الميكروي؛ وهو غير كافٍ للتأثير الفعلي في رحلة الفوتونات. وبينما نسافر نحو الخارج عبر الفضاء ونرجع بالزمن للوراء، يتلاشىٰ ضوء الشمس، ولكن تظل فوتوناتنا وأشقاؤها من إشعاع الخلفية الميكروي منتشرة في سائر الأرجاء.

---

(١) بالطبع، تظهر التليفزيونات الحديثة شاشة زرقاء عندما تكون غير مضبوطة علىٰ قناة ما. ولكن بالنسبة للاطفال، ينبغي أن يسألوا آباءهم عن قدر المرح الذي كانوا يجدوه عندما يضبطونه علىٰ برامجهم المفضلة بمساعدة المقبض. وبمجرد أن تضبطه، لا بد وأن يبدو قولهم «لا تلمس هذا الزر» منطقيًّا.

وقبل بضعة آلاف سنة، كانت فوتوناتنا أعلىٰ بكثير من قرص غازات مجرة درب التبانة ونجومه. ومن هنالك، يتسنىٰ لك رؤية البنية المهيبة لمجرتنا، وقرص نجومها النحيف الدائر، وأقزامها البيضاء، وغبارها وغازاتها، وأذرعها الحلزونية حيث يتكون هنالك نجم جديد سنويًا (في المتوسط). كما يمكنك رؤية المجرة الشقيقة لمجرتنا -وهي المرأة المسلسلة- التي تبعد عنا نحو مليوني سنة ضوئية. (وهي تقترب منا بسرعة ٣٠٠ كيلومتر في الثانية. ولكن لا تفزع. فهي لن تصل قبل ٣-٤ مليار سنة. وحتىٰ عندئذ، تذكر سحابة الزنابير. أيقلق الزنبور حيال ارتطام رأسه بآخر إذا ما رأىٰ سحابة أخرىٰ تقترب؟)

ويحيط بمجرة درب التبانة هالة من المادة المظلمة. ابق إصبعك علىٰ زر الإرجاع، وسوف ترىٰ دفعة الفوتونات ترتد إلىٰ خارج هالة مجرتنا قبل نحو نصف مليون سنة. وقد دخلت الآن الفضاء الذي بين المجرات. وسوف تقضي ١٢.٥ مليار سنة في الصحراء الشاسعة، ولا يصحبها سوىٰ القليل جدا من المادة. وأثناء مرحلة الطيران هذه، يتوقع مرور الفوتونات بمجرة واحدة، وربما تكون مجرة شقيقة لمجرتنا[١] وسوف يقضي هذا علىٰ الملل لبضعة عشرات آلاف السنين، قبل أن تعود إلىٰ الفضاء الذي بين النجوم.

---

(١) كيف نعرف ذلك؟ إن النجوم الزائفة ساطعة بما يكفي لنرىٰ الغاز المتداخل في الصورة الظلية. ويعتقد أن مناطق الغاز الكثيفة بما يكفي -المعروفة في هذا المجال بأنظمة ليمان ألفا Lymanalpha للامتصاص (DLAs)- تقتفي أثر المجرات والمجرات البدائية التي تجمع الغاز للاعداد لانفجارها الاول لتشكيل النجوم. وفي عام ٢٠٠٠، أظهرت ليسا ستوري مومباردي Lisa Storrie-Lombardi وآرت ولفا Art Wolfe أنه يوجد نحو نظام واحد من أنظمة ليمان ألفا للامتصاص (DLAs) علىٰ امتداد مرمىٰ البصر في الاثني عشر والنصف مليار سنة الماضية.

الكون المتطور

لنتأمل كيفية تغير الكون خلال رحلة فوتونات شعاع الخلفية الكونية الميكروي CMB الخاصة بنا. إن كوننا يتوسع، لذا لو نظرنا للماضي، سنرىٰ أن المجرات أكثر قربا من بعضها، والغاز بين المجرات أكثر ضغطا. حيث كان الكون أشد كثافة[1] في الماضي.

وعلىٰ مدار الثلاث مليارات سنة الأولىٰ من الاسترجاع (أي ما بين الوقت الحاضر وثلاث مليارات سنة مضت)، مع كل عودة للوراء، يصبح الكون أكثر نشاطًا. ففي الماضي، كانت النجوم تولد أكثر، وكان المزيد من الثقوب السوداء الجائعة تحصل علىٰ طعامها، مما يمد القلوب النشطة للمجرات. ويملأ الكون إشعاع نشط من النجوم والنجوم الزائفة، مما يسلب الهيدروجين الذي بين المجرات إلكتروناته؛ ولذا كان أغلب كوننا عبارة عن بلازما.

بيد أن هذا النشاط يبلغ ذروته. واصل الرجوع بالشريط إلىٰ ما قبل ٣ مليارات سنة، وستجد أن كل دقة من دقات الساعة تشهد ميلاد نجوم ونجوم زائفة أقل. وقبل نحو ١٢.٨ مليار سنة، كان يوجد عدد قليل جدا من النجوم لا يسمح بإبقاء فصل الإلكترونات عن البروتونات، ولذا كان أغلب الغاز الذي

(١) الكثافة تعني مقدار كتلة المادة التي تشغل حيزا من الفراغ، فهي تتناسب طرديا مع الكتلة وعكسيا مع الحجم، وبالتالي فكلما زادت كتلة المادة وقل الحجم الذي تشغله زادت الكثافة -المترجم-

بين النجوم يتكون من ذرات الهيدروجين المحايدة. وعلاوة علىٰ ذلك، كلما تعمقنا في النظر إلىٰ الوراء، نعثر علىٰ تغيرات أكبر.

وفي فلمنا الكوني المعكوس، يظهر الكون وهو آخذ في تعديل الأوضاع. حيث لم تكن المجرات تنتج نجومًا أقل وحسب، بل كانت هي نفسها تُمحىٰ! ويعود ضوء النجوم إلىٰ سحب الغازات التي تنشأ منها النجوم. ونحن لسنا متأكدين بالضبط من الوقت الذي كانت عنده فوتوناتنا حاضرة لدىٰ ميلاد المجرة الأولىٰ سواء كان هذا الميلاد ناجحًا أو لا، ولكن ذلك حدث منذ قرابة ١٣.٥ مليار سنة، أي بعد الانفجار الكبير بـ ٠.٢ مليار سنة[١] حيث دخل الكون في عصور الظلام؛ فلم يكن ثم نجوم، وإنما مجرد حساء من ذرات الهيدروجين، وكان أكثف ٢٠ مرة مما هو عليه اليوم، ويتخلله فوتونات إشعاع الخلفية الكونية الميكروي CMB. ولا تزال فوتوناتنا تؤدي دور المشاهد، وتواصل رحلتها راجعة عبر الظلام.

كما أن انضغاط الكون يجعل المادة والإشعاع أكثف وأسخن. في حين يزداد نشاط فوتوناتنا علىٰ وجه الخصوص. وقد بدأنا بموجات ميكروية يبلغ طول موجتها نحو ملليمتر. وكان حجم الكون أصغر ٢٠ مرة مما هو عليه اليوم، حيث إن فوتوناتنا الآن عبارة عن أشعة تحت الحمراء، وتتحرك بسرعة أعلىٰ باتجاه الطيف الكهرومغناطيسي.

ونظرًا لأن الكون يشبه مزيجًا متجانسًا من المادة والإشعاع، يمكننا رؤية أن فوتونات إشعاع الخلفية الكوني الميكروي تفوق جسيمات المادة بنسبة تبلغ نحو مليار إلىٰ واحد. ومع ذلك فإن جسيمات المادة هذه تصبح ضبابًا.

---

(١) قد تظن أن المجرات يتم محوها بسبب -مع إبقاء أصبعنا علىٰ زر الارجاع- أن جذب الجاذبية يبدو وكأنه تنافر. وليس الامر كذلك. فإذا ضغطت علىٰ زر الارجاع لفيديو عن الارض وهي تدور حول الشمس، ستظل تبدو كتلة صغيرة تجذبها كتلة أكبر. فالجاذبية تجذب في كل من اتجاهي الزمن. ولكن سلاسة الكون في مراحله الاولية لا ترجع إلىٰ قواه وقوانينه، وإنما هي ظرف أولي خاص. فكما رأينا في الفصل السابق، فهذه هي كيفية بداية كوننا

وتمر دفعة إلكتروناتنا دون أن تلحق ضررا بالذرات المحايدة في الكون. ولكن كلما زادت درجة الحرارة برجوعنا عبر الزمن، نجد أن بعض فوتونات دفعتنا نشطة بما يكفي لتحرير الإلكترونات من الذرات. وعلىٰ الأرجح فإن هذه الإلكترونات المتحررة ستعيق مرور فوتون ما.

وعندما يكون عمر الكون ٣٧٨.٠٠٠ سنة، ويكون أصغر .١ مرة مما هو عليه اليوم، ينتهي ضباب الإلكترونات الحرة. حيث تكون درجة حرارة الكون مرتفعة جدا لدرجة أن الإلكترونات لا تستطيع أن تظل مرتبطة بالذرات. وفي مكان ما من الكون الفسيح، ثمة إلكترون حر يحمل اسم فوتوننا (الذي نشاهد مسيرته العكسية) عليه. فيصطدم الاثنان. وتنتهي الرحلة التي استمرت لأكثر من ١٣ مليار سنة في خط مستقيم بتحول مفاجئ جدا.

فهذا الإلكترون هو ما نراه في إشعاع الخلفية الكونية CMB. لنفكر أكثرفي هذا الأمر. إن رؤية أي شيء معناه أن ترىٰ المبعثر الأخير the (last scatterer). انظر حولك في الغرفة التي أنت بها؛ فالضوء يدخل من النافذة، ويتبعثر علىٰ لوحة جدارية، وينتقل بعضه إلىٰ عينك. فعينيك وعقلك يترجمان تلك الفوتونات إلىٰ صورة لتلك اللوحة. ومن المهم أن هذا ما كان ليحدث إلا لأن الهواء الذي بين اللوحة وعيني يسمح بمرور الضوء مرورًا حرًا.

فكر في التقاط صورة للشمس. (ينبغي لك ألا تنظر مباشرة إلىٰ الشمس تحت أي ظرف. كم مرة نحتاج إلىٰ تذكيرك؟!) فالفوتونات تُخلق في باطن الشمس، وتستغرق مائة ألف سنة لتصل إلىٰ السطح، متناثرة علىٰ طول الطريق. ولا يمكن للضوء أن يمر إلىٰ الكاميرا إلا بعد أن يتحرر من الغاز. وتمحو كل بعثرة أي معلومة عن منشأ الفوتون، ولذا لا يمكن لكاميرتنا أن تبلغ مجالا بعيدا من الرؤية نحو الشمس.

وفي المقابل، ترحل النيوترينوات المراوغة التي تنتجها التفاعلات النووية في باطن الشمس مباشرة عبر الغاز المحيط. ومؤخرًا، تمكن العلماء من تصوير الشمس بالنيوترينوات، وينظروا مباشرة نحو باطنها. أظنه أمرا رائعا.

والكون يشبه الشمس، ولكن بصورة عكسية. فنحن ننظر إلىٰ طبقات الكون الكثيفة الساخنة منذ زمن طويل، فيما يعرف بسطح البعثرة الأخيرة. حيث نرىٰ دفعات ساخنة كثيفة من المادة التي ترجع نشأتها إلىٰ مراحل الكون الأولىٰ.

ونتيجة لذلك، يحمل إشعاع الخلفية الكونية الميكروي كمية كبيرة من المعلومات عن الكون في أثناء طور مهده. حيث تنطبع تقلبات درجة الحرارة والكثافة لدىٰ رقاع المادة التي في مراحل الكون الأولىٰ في دفعات من الفوتونات ذات النشاط الأعلىٰ والأقل، والتي هي موجودة في سماء الخلفية الكونية الميكروية.

لنعد إلىٰ دفعة فوتوناتنا الباسلة. لقد تبعثرت، لكنها لم تتدمر. فهي تتردد في ضباب من الإلكترونات، ولكنها لم تولد هنا. وكلما أبقينا أصبعنا علىٰ زر الرجوع، يستمر ارتفاع حرارة الضباب، ويزداد نشاط الإلكترونات.

يُعدُّ سلب إلكترون من الذرة أشبه بلعب أطفال مقارنة بإحداث اضطراب للنواة. وهو يشبه الفرق بين هش ذبابة من علىٰ ظهر فيل، وبين دفع الفيل نفسه. وبعد الانفجار الكبير بـ ٣٧٨٠٠٠ سنة، كان بوسع حزمة الفوتونات إحداث اضطراب لدىٰ الإلكترونات التي تهتز حول الأجزاء الخارجية للذرات. ومع ذلك، تظل الأنوية علىٰ ما هي عليها من دون أن تتأثر.

ابق أصبعك علىٰ زر الإرجاع إلىٰ ما بعد الانفجار الكبير بعشرين دقيقة فقط. في هذه المرحلة، كانت مادة الكون نحو ٧٤ في المائة هيدروجين (بروتونات مفردة)، و٢٥ في المائة هيليوم (بروتونان ونيوترونان) وكمية قليلة من الأنوية الأخرىٰ.

بيد أن حزمة الفوتونات التي بالكاد يمكنها إثارة ضوضاء علىٰ التلفاز لا يمكن التعرف عليها الآن. وفي محيط الأرض، يستلزم الأمر مفاعلًا نوويا أو اللهيب الساحق الذي في مركز الشمس لدمج أنوية الذرات معا، أو فصلهم عن بعض. أما في الدقائق الأولىٰ من عمر الكون، يقوم كل فوتون بتهشيم نواة. وتفوق الفوتونات أعداد الأنوية بنسبة مليار إلىٰ واحد.

وتستسلم القوة النووية القوية -التي ظلت ممسكة بأنوية الهيليوم طيلة الـ ١٣.٨ مليار سنة الماضية من الفيلم المعكوس- لجيش الفوتونات الجامح. وترسل البروتونات -المرتطمة من جميع الجهات- لتصطدم بالأنوية. وفي غضون دقائق، ينحسر الكون إلىٰ بروتونات ونيوترونات وإلكترونات. حيث لا يمكنهم الارتباط لأكثر من لحظة من دون أن ينشطروا.

تزداد بساطة الكون. وبعد الانفجار الكبير بثانية، كان جيش الفوتونات المجتاح قد حسر المادة في وحدات بنائها.

ماذا يمكن أن يوقف هذا الجيش في النهاية؟ ومن أين أتىٰ؟

إن عدوهم الأخير هو أنفسهم.

في ظروف الأرض الطبيعية، لا تتفاعل جسيمات الضوء مع بعضها. حيث يمكنك قطع تيارات المصابيح اليدوية، بل وحتىٰ تيارات الليزر من دون خوف. لأن الفوتونات تمر إلىٰ جانب بعضها مرور الكرام.

ولكن يمكن لفوتونين شديدي النشاط أن يفعلا شيئا مذهلًا؛ يمكنهما خلق مادة. وهذا هو إفناء المادة والمادة المضادة ولكن علىٰ نحو معكوس. وحين يلتقي الإلكترون بمضاد إلكترون (بوزيترون)، يمكن للاثنين أن يتلاشوا إلىٰ فوتونين نشيطين. والآن اعكس هذه العملية. إذا كان لدىٰ فوتونين طاقة كافية، فيمكنهما الاصطدام لخلق إلكترون وبوزيترون. فهما بحاجة إلىٰ طاقة كافية لصنع الطاقة الضخمة للإلكترون والبوزيترون. أما الفوتونات التي في مصباحك فهي أقصر بمعامل يبلغ عشرات الملايين.

وبينما يرجع الشريط إلىٰ الثانية الأولىٰ من عمر الكون، تنفجر سحابة الفوتونات إلىٰ سحابة إلكترونات وبوزيترونات. ولأن الفوتونات تفوق الإلكترونات عددًا بنسبة تبلغ مليار إلىٰ واحد في يومنا هذا، يتم انضمام مليار إلكترون شقيق (ومضاده) إلىٰ كل إلكترون فجأة. ويصير عدد الفوتونات والإلكترونات والبوزيترونات متساويا تقريبا. وقبل ذلك -قبل نحو جزء من مائة

ألف جزء من الثانية- تظل فوتوناتنا نشطة بما يكفي لخلق المزيد من مليارات البروتونات ومضادات البروتونات.

وهنا منشأ فوتونات شعاع الخلفية الكونية الميكروي. حيث بدأ كوننا كمستنقع عكر كثيف وساخن -مغليٍّ- من شتىٰ أنواع الجسيمات. وتنشئ اصطداماتهم بعضهم البعض وتدمر بعضهم البعض، سواء الفوتونات والبروتونات والنيوترونات والإلكترونات والنيوترينوات وجسيماتهم المضادة و-الأغرب من ذلك- جسيمات أثقل.

ولأسباب لا نفهمها، يحوي الكون في مرحلته المبكرة جدا نحو مليار وواحد جسيم لكل مليار جسيم مضاد. وقد لا يبدو هذا أمرًا مهما، ولكننا جميعا مخلوقون من هذه المليار وواحد جسيم. فحين تفنىٰ كل من المادة ومضادتها عندما يبرد الكون، تظل بقاياهم. وقد خلق كوننا هذا من بقاياهم.

وقد اكتسب علم الكون النموذجي Standard Cosmology تسميتها الأشهر -نظرية الانفجار الكبير- من هذه البداية الساخنة المتوسعة. فهي تشير ببساطة إلىٰ فكرة أن الكون في الماضي كان أكثف وأسخن. هذا كل ما في الأمر. وقد رأينا في هذا الفصل بعض نتائج هذه المقدمة.

ولا بد من التفريق بين نظرية الانفجار الكبير وبداية الكون. ففي نموذج (FLRW)، يبدأ الكون عند نقطة ذات كثافة وحرارة لا نهائية، حيث يبلغ حجم الكون عند هذه النقطة صفرًا بالضبط. وقد أظهر ستيفين هوكينج tephen Hawking ورودجر بنروز Roger Penrose بالتفصيل كيف أن هذه البداية هي بمثابة حد فاصل للزمكان.

ومع ذلك، فإن هذه البداية ليست جزء مهما من نظرية الانفجار الكبير. فنظرية الانفجار الكبير عبارة عن فكرة علمية منقطعة النظير، تفسر نطاقا واسعا من الملاحظات المرصودة. أما ما إذا كان نجاح النظرية يعني أن الانفجار الكبير يشير إلىٰ بداية الزمن نفسه أو لا فهذا سؤال مختلف تمامًا. فالنظرية تصف كيفية تطور الكون، أما كيفية ميلاده -إن كان قد ولد- فهي أمر آخر.

كيف صنع الكون مجراته؟

لقد قصصنا قصة ضوء الكون، انطلاقا من الأرض في الاتجاه العكسي نحو أولىٰ لحظات الكون. ولا يزال هنالك قصة أخرىٰ لنقصها، وهي ليست عن الكون، بل عن المادة.

يعطينا إشعاع الخلفية الكونية الميكروي صورة دقيقة للكون بعد الانفجار الكبير بـ ٣٧٨٠٠٠ سنة. حيث يحتوي الكون علىٰ غاز بارد معظمه هيليوم وهيدروجين. وهو سلس smooth وموحد، بغض النظر عن التباينات الطفيفة في الكثافة لحوالي جزء من ١٠٠. فكيف يشكل حساء الجسيمات المتوسع هذا مجرات كوننا اليوم ونجومه وكواكبه؟

لا تستخف بتلك الإشكالية! ففي إحدىٰ أزمنة الكون التي يمكننا الاطلاع عليها، كان أقصىٰ تباين في الكثافة البعيدة عن المتوسط هي بالكاد واحد من ألف في المئة. أما اليوم، فإن الهواء في تلك الغرفة أشد كثافة بمليار مليار مرة من متوسط كثافة الكون. حيث يلزم جمع كمية كبيرة من المادة من منطقة كبيرة من الكون لكي يصير محيطك عالي الكثافة.



شكل ٢٤: بينما تجعل الجاذبية المناطق الأكثر كثافة في الكون تجذب مزيدا من الكتلة وتصبح أثقل، تشكل المادة شبكة كونية من الشراعات sheets، والخطوط والعقد. وعلىٰ وجه الخصوص، تعرف العقد بأنها هالات haloes من المادة المظلمة، وهي مستقرة في مقابل مزيد من الانهيار بفعل الحركة الاهتزازية العشوائية لجسيمات المادة المظلمة.

(Simulation by Pascal Elahi, Kevin Lam and Luke).

تبدأ قصتنا بالجاذبية. والجاذبية هي مادة جاذبة تجذب مادة أخرىٰ، وكلما زادت المادة، زاد الجذب. والكون ليس قائمًا علىٰ أساس المساواة. وإنما يزداد الغَنِيُّ غنًا، وكذلك تجذب كتل المادة الأكبر كتلا أصغر، وبهذا تظل تكبر أكثر فأكثر.

ولذا تنموا التكتلات والنتوءات الصغيرة التي نراها في الكون المبكر -مطبوعة علىٰ إشعاع الخلفية الكوني CMB- إلىٰ تكتلات ونتوءات أكبر. ونظرًا لأن المادة المظلمة ليست خاضعة سوىٰ لتأثير قوة الجاذبية -علىٰ حد معرفتنا- فقد تكثفت وانهارت بهذه الطريقة علىٰ مدار ١٣.٨ مليار عام الماضية، إشكالية الشبكة الكونية. كما تنهار الفقاعة النموذجية للمادة أولًا حول محورها الأقصر، محدثة شراعا. وسيستمر هذا الشراع في الانهيار، محدثا خيطًا رقيقا. وعند تقاطع تلك الخيوط، تجتمع المادة في عقد كثيفة. وفي تلك العقد، يتم صون المادة المظلمة عن المزيد من الانهيار بفعل حركتها، بالطريقة نفسها التي تصون المجموعة الشمسية من السقوط في الشمس بسبب الحركة الدائرية للكواكب، فهذه العقد الخاصة بالمادة المظلمة تحتفظ حجمها وكثافتها نظرًا للحركة العشوائية لجسيمات المادة المظلمة. وتعرف هذه العقد بهالات المادة المظلمة (الشكل ٢٤).

وفي المقابل، لا يمكن للمادة العادية (غير المظلمة) أن تنهار بحرية هكذا. حيث إن ضغطها الحراري الذي يحدثه الاصطدامات الكهرومغناطيسية للجسيمات يمكنه مقاومة الجاذبية من خلال دفعها، وجعلها تأبىٰ الانضغاط. ولا يكون هذا الأمر فعالا إلا عندما يكون الكون في عمر مبكر وحرارته مرتفعة. أما عندما يبرد الكون بما يكفي لجعل الإلكترونات ترتبط بذرات محايدة (بعد مضي نحو ٣٧٨٠٠٠ سنة علىٰ الانفجار الكبير)، تفقد المادة العادية مقاومتها، وترافق نظيرتها الأوفر منها عن طريق السقوط السريع في هالات المادة المظلمة.

ومع ذلك، ففي رحلتنا من تكتلات المادة التي هي أكثر كثافة بنسبة واحد في الألف بالمائة من المتوسط إلىٰ تكتلات أكثر كثافة بمليارات مليارات

المرات، لا توصلنا المادة المظلمة إلا لجزء من الطريق وحسب. فإن هالة نموذجية من المادة المظلمة لا تزيد كثافتها عن متوسط كثافة الكون سوىٰ بمئتي مرة. في الواقع، تميل الهالات لأن تزيد كثافتها عن متوسط كثافة الكون بمئتي مرة عند الوقت الذي تكونت فيه. وبما أن الكون كان أكثر كثافة في الماضي؛ يمكن لهالات المادة المظلمة التي تكونت في مرحلة مبكرة من الكون أن تكون أكثر كثافة من متوسط كثافة اليوم بعشرات آلاف المرات.

وبالرغم من ذلك، فإن عشرات الآلاف أقل بكثير من المعامل الذي يبلغ مليارات مليارات المليارات اللازمة لخلق النجوم والكواكب. فإذا لم تكن الجاذبية هي السبب، فما هو السبب إذن؟

منذ الوهلة الأولىٰ، يبدو أن القوىٰ الطبيعية الأخرىٰ لن تفيد البتة. فالقوتان النوويتان -القوية والضعيفة- نطاقهما قصير، وإنما يدفعان ويجذبان علىٰ بعد مسافات تقارب حجم الذرة. كما أن الكهرومغناطيسية مسؤولة عن قوىٰ الجذب بين الذرات في المركبات الكيميائية، ولكنها لا تعمل سوىٰ داخل الجزيئات. وفي الغازات، يكون التنافر الكهرومغناطيسي مسؤولا عن ارتداد الجزيئات المفردة عن بعضها البعض كلما حدث اقتراب بينهم. وسيجذب كل من الذرات والجزيئات الآخر في السوائل والأجسام الصلبة، ولكنها تستلزم الظروف ذات الكثافة العالية نفسها التي نحاول تفسيرها. كيف تنهار المادة إلىٰ مجرات؟

في الواقع، إن الكهرومغناطيسية هي عين القوة التي نبحث عنها، ولكن في صورة إشعاع. فحين يلتقي جسيمان في غاز ما، عادة ما يرتدان عكس بعضهما. ولكن أحيانا يدفع التصادم الإلكترونات دفعة تكفي لانبعاث جسيم ضوء (فوتون). وبينما تبقىٰ الجسيمات مقيدة بالجاذبية، ينطلق الفوتون بسرعة الضوء. وسرعان ما يغادر البقعة التي نشأ فيها حاملًا معه طاقته.

وتأتي هذه الطاقة علىٰ حساب الطاقة الحرارية للغاز، والتي هي ببساطة عبارة عن الطاقة العشوائية لحركة الجسيمات (طاقة حركة). فلو كان بوسعك رؤية جسيمات الهواء في تلك الغرفة، سترىٰ أنهم يهتزون بسرعات مهولة (نحو ٢٠٠٠

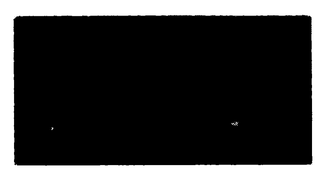
كم/ساعة!)، مصطدمين ببعضهم وبالجدران والنوافذ. وفي بقعة من المادة واقعة تحت تأثير الجاذبية، تدعم تلك الحركات العشوائية الغاز في مقابل قوة الجاذبية، كما الحال بالنسبة للمادة المظلمة.

وهكذا تتسرب الطاقة من المادة العادية. ومع أننا لا نلاحظ ذلك في حياتنا اليومية، إلا أن المادة العادية إذا سقطت في هالات المادة المظلمة، فقدت قدرتها علىٰ مقاومة الجاذبية وبدأت في الانهيار. (وفي الوقت نفسه، لا تصطدم جسيمات المادة المظلمة ببعضها ولذا تحتفظ بحركتها العشوائية.) وفي الظروف المناسبة، يسير هذا الانهيار بسرعة عالية، حيث تصطدم الجسيمات، وتتحرر الطاقة (من الحركة العشوائية للجسيمات)، ويمكن للجاذبية أن تزيد من سحق البقعة بعض الشيء، فتزداد كثافة المادة، ويزداد اصطدام الجسيمات، ويتحرر مزيد من الطاقة، ويحدث مزيد من الانهيار، وهلم جرا. وفي داخل هالات المادة المظلمة وحولها، تندفع المادة نحو المركز، نحو كثافات أعلىٰ وأعلىٰ. فها نحن في طريقنا لإنشاء مجرة!

أين ستنتهي؟ لم لا تنهار المادة ببساطة إلىٰ ثقب أسود؟ السبب في ذلك هو أحد أنواع الحركة الأخرىٰ:

سوف تحتوي البقعة الأولية للمادة المنهارة علىٰ كمية قليلة من الحركة الدائرية، وسيكون هنالك مدار ما يمكننا رسمه خلال البقعة بحيث لو جمعنا كل المادة المتجهة نحو عقارب الساعة وكل المادة المتجهة عكس اتجاه عقارب الساعة، لن يفنىٰ الاثنين تمامًا. ورغم أن البقعة كبيرة ومنتشرة، إلا أن هذا لا يكاد يحدث فرقًا. ولكن عندما تبدأ البقعة في الانهيار، يصبح الدوران مهما.

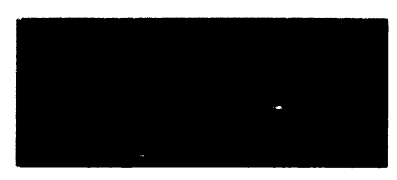
تصور متزلجًا في حركة دائرية. وبينما ذراعاه ممدودان، يدور ببطء. ولكن عندما يضم ذراعيه، تزداد سرعته، ويدور بسرعة متزايدة. حيث يسفر الجهد المبذول في ضم ذراعيه في مدار أضيق عن دورانه بسرعة أكبر.



شكل ٢٥: ثلاث مجرات حلزونية. فحين تستقر سحابة غازية أثناء دورانها وانهيارها في هالة مادة مظلمة، تكون مجرة قرصية. حيث تكون النجوم قرصا سميكا راسخا في مواجهة مزيد من الانهيار بفعل دورانه. (وهذا الشكل عبارة عن قطعة صغيرة من السماء من المسح الأثري لعموم مجرة المرأة المسلسلة Pan-Andromeda، يرجع الفضل فيها إلىٰ رودريغو إيباتا Rodrigo Ibata من مرصد ستراسبورج trasbourg Observatory)

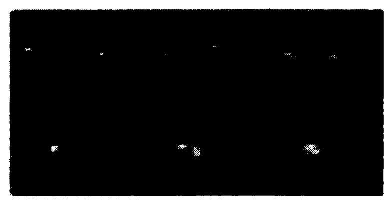
وعند انهيار مجرتنا البدائية، تزداد سرعة دورانها. وتُتبع الحركة العشوائية للغاز بدوران منتظم حول مدار مركزي. وهذا يُحدث استقرارا جديدا، سيظل موجودا حتىٰ لو استمر الغاز في البرود بفعل إصدار الإشعاع. وعلاوة علىٰ ذلك، سوف تصطدم أي سحابة غازية تسير عشوائيا عبر الغاز الذي يدور بذلك الغاز، وتصدر إشعاعها وتتبع دورانه. وهذا يشمل الغاز الذي يدور حول مدار مختلف عن معظم المجرة. فيسفر الأمر عن قرص من المادة في حالة دوران، كتلك التي نراها في المجرات التي حولنا، والتي هي أصغر بكثير من هالة المادة المظلمة التي تشكلت بها (الشكل ٢٥).

ويمكن للنجوم والكواكب أن تتشكل في الأقراص الغازية للمجرات المتشكلة حديثا. بيد أن قصة مجرتنا لم تنته بعد. فهي تظل جزءً من الشبكة الكونية. وفي الكون، تنموا الهالات الكبيرة باقتياتها علىٰ هالات أصغر واندماجها معها، فيما يعرف بالتشكل الهرمي. وفي تشابك المادة الكثيفة هذا، لا تنتشر النجوم بالتساوي عبر الكون، وإنما ستتجمع في مجموعات وعناقيد عادية وأخرىٰ فائقة. (الشكل ٢٦). إن خير مثال علىٰ ذلك هو مجاورتنا الكونية، التي أطلق عليها «المجموعة المحلية». حيث يتم اكتشاف نحو مائة مجرة أصغر تنضم إلىٰ مجرة درب التبانة وشقيقتها في الحجم -المرأة المسلسلة- وكذلك أقزام جديدة.



شكل ٢٦: عنقود كوما Coma المجري يبعد نحو ٣٠٠ مليون سنة ضوئية، ويتكون من آلاف المجرات التي تدور حول بعضها. ويبلغ وزن العنقود كله نحو وزن مجرة درب التبانة مائة مرة. (المصدر: مايك إروين Mike Irwin، جامعة كامبريدج، وقد حصلنا علىٰ إذن في نشرها.)

ومع وجود العديد من المجرات التي تحوم حول المنطقة، ليس من المدهش أن تتصادم أحيانًا. وتستغرق تلك الاصطدامات مليارات السنين، ولذا تقدم ملاحظاتنا الفلكية لمحة موجزة عن حطام القطار الكوني هذا. ومن خلال سلسلة من اللمحات الموجزة، يمكننا جمع صورة مركبة، كما في الشكل ٢٧. حيث إن قرص النجوم والغاز ملتوٍ بفعل جاذبية المجرة الأخرىٰ. فيصطدم الغاز وينضغط وينشئ دفعة من النجوم الجديدة. ويتم اقتلاع ما يسمىٰ تيارات جذب الغاز والنجوم من أطراف كل مجرة، مما يشكل خصائص وسمات ترجع إلىٰ محل التأثير.



شكل ٢٧: مجموعة مختارة من المجرات المتقاطعة، لتوضيح تسلسل الاندماج. فعند اقتراب المجرات واصطدامها، تقوم جاذبيتهم المتبادلة بجذب تيارات الغاز والنجوم إلىٰ تيارات مد وجذر دقيقة. وفي الاصطدام، ينضغط غازهم ويظل ينهار إلىٰ أن تصير المجرتان مجرة واحدة. المصدر:

(NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University), K. Noll (STScI), and J. Westphal (Caltech),

وقد حصلنا علىٰ إذن نشرها.

وبينما توفر السماء لمحات قصيرة، يمكن لنظام محاكاة أن يكشف جميع التفاصيل المروعة للصدام، مستخدما حواسيب مبرمجة لحل قوانين الفيزياء. حيث ترشدنا تلك الأنظمة في فهمنا لاندماج المجرات الذي يحدث في كوننا هذا، كاشفا عنف التحولات المجرية (الشكل ٢٨). وبناء علىٰ نشأة الأقراص المصطدمة، يمكن أن تكون النتيجة النهائية عبارة عن قرص جديد أكبر مستدير، أو كرة مستديرة من الغاز والنجوم.

والكون مليء بآثار اندماج المجرات، أشهرها هو الحشود الكبيرة لما يسمىٰ المجرات الإهليلجية elliptical galaxies (الشكل ٢٩). ربما لم ترىٰ مجرة كهذه من قبل، ولسبب ما، فهي ليست بجمال نظائرها القرصية. بيد أنها علىٰ نفس القدر من الشيوع، وعادة ما تكون أثقل، وبها نجوم أقدم وتفتقر إلىٰ مواد إنشاء نجوم جديدة[١]

شكل ٢٨: استخدام شفرات حاسوبية تشمل الجاذبية والنجوم وضغط الغاز وغيرها، حيث يمكننا محاكاة ما قد يبدو عليه التصادم علىٰ سطح مجرتين. قارن هذه الصورة بسابقتها، ولاحظ علىٰ وجه الخصوص أذيال المد والجذر وأثر «حطام القطار» 'train wreck' (يرجع الفضل في الحصول علىٰ تلك الصورة إلىٰ جون دوبينسكي John Dubinski، وقد حصلنا علىٰ إذن بنشرها.) وللاطلاع علىٰ رسوم متحركة مبهرة عن اندماج النجوم، زر www.cita.utoronto.ca/~dubinski/galaxydynamics/

(١) يعشق الفلكيون تصنيف الاشياء، ووضعها في صناديق، بالرغم من أن ولع بعض الفلكيين بالتصنيف أشبه بجمع الطوابع والدمغات من العلم. ولذا فهي مع المجرات، مع المجرات الاهليلجية موضوعة في صندوق يسمىٰ النوع المبكر، بينما تعرف حلزوناتها بالنوع القديم، وفقا لمنشئها فيما صار يعرف بنموذج «الشوكة الرنانة» 'tuning-fork' ويعتقد البعض أن الاسم يشير إلىٰ نوع من أنواع التسلسل التطوري، حيث تصبح المجرات الاهليلجية حلزونات، ولكن في الواقع يبدو أن التطور يسير في الاتجاه الاخر، حيث إن اصطدامات الحلزونات هي التي تنشئ المجرات الاهليلجية.

وبينما يؤدي اندماج النجوم دورا مهما في تحويل المجرات القرصية إلىٰ أخرىٰ إهليلجية، ثمة ممثلون آخرون في تلك المسرحية. فإذا استثيرت مجرة قرصية، كما في مواجهة قريبة، فبدلا من عودتها إلىٰ مدار منتظم، قد تجد أن أجزاءها الداخلية تلتوي وتتعرج وتتسع إلىٰ أن تصحب حوصلة مجرية. تبدوا المجرات التي يمكننا رؤيتها في الكون البعيد (ومن ثم المبكر) أكثر تكتلا من المجرات القرصية المنتظمة التي نراها اليوم. ولاستقرار المجرة القرصية هذا علاقة مهمة بتشكل النجوم وهجرتها، بالرغم من أن الفلكيين لا زالوا يحللون التفاصيل. يبدو أن المجرات القرصية عادة ما تشكل حوصلة في البداية، ثم يصبح قطاعها النجمي في متوسطه أكبر سنا، ثم يتوقف تشكل النجوم. أو كما قال الفلكي الأسترالي نيد تيلور Ned Taylor: أولًا تسمن، ثم تكبر سنًّا، ثم تموت.



شكل ٢٩: مجرتان إهليلجيتان. هذا النوع من المجرات عبارة عن كرة ممتدة من النجوم، وتحتوي القليل جدا من الغاز ومدارها أقل انتظاما من المجرة القرصية disk galaxy. (وهذا الشكل عبارة عن قطعة صغيرة من السماء من المسح الأثري لعموم مجرة المرأة المسلسلة Pan-Andromeda، يرجع الفضل فيها إلىٰ رودريغو إيباتا Rodrigo Ibata من مرصد ستراسبورج (trasbourg Observatory).

كما يؤدي سكان المجرات دورهم أيضًا. فحين تستنفذ النجوم الضخمة وقودها النووي، تنفجر في مستعرات عظمىٰ (سوبر نوفا). وإذا انفجر قدر كاف من المستعرات العظمىٰ معا، يمكن لأثر انفجارهم الجماعي أن يدفع ما تحويه من غاز إلىٰ خارج المجرات ويعيده إلىٰ الفضاء الذي بين المجرات. ونحن نرىٰ أدلة علىٰ تلك العملية في صورة الرياح المجرية؛ فبعض المجرات تظهر جسيمات

من المادة نشطة جدا تنبعث إلىٰ خارج أقراصها. كما يوجد في مركز كل مجرة تقريبا ثقب أسود، والذي يمكن أن يكون أثقل من مليار شمس. وتشكل المادة التي تهوي في الجاذبية الشديدة لثقب أسود قرصا سريع الدوران شديد النشاط. وسيكون هذا القرص أصغر ملايين المرات من قرص الغاز والنجوم الذي في المجرة، ولكنه سينتج كميات كبيرة من الإشعاع. وشأنه شأن المستعرات العظمىٰ، يمكن لهذا الإشعاع أن يسخن الغاز ويخرجه من المجرات. وفي يومنا هذا، تركز كثير من الأبحاث التي تدرس تشكل المجرات علىٰ فهم تلك العمليات التي تعتبر آثارا لغيرها.

وفي داخل المجرات، يكون الغاز كثيفا بما يكفي لتشكيل النجوم والكواكب. ومرة ثانية، تكون الجاذبية هي الدافع المحرك، حيث تنهار أكوام المادة تحت تأثير وزنها. وفي النجوم، يتم إيقاف انهيار الجاذبية في النهاية عن طريق إثارة تفاعلات نووية في بواطنها. وبالنسبة للكواكب، صلابة الحجارة العادية لمادتها كافية لمنع الجاذبية من سحق كرة صخرية إلىٰ ثقب أسود.

وإذا عدنا إلىٰ الصورة الكبيرة، نجد أن نظرية الانفجار الكبير تبلي بلاء حسنا في تفسير الكون الذي نراه من خلال تلسكوباتنا -مراصدنا-. حيث تكثر الأفكار الكوزمولوجية البديلة، كما يظهر من خلال البحث في محرك البحث جوجل. ولكن لا بد وأن يجيبوا عن نقد إجمالي المعلومات، وحتىٰ يومنا هذا، لم يقترب أحد من تفسير الكون بالتفصيل الذي تقدمه نظرية الانفجار الكبير. ولا تزال الألغاز موجودة؛ ولذا سنستمر في الرصد والمحاكاة والتفكير والتنظير. وبالرغم من ذلك، بعض خصائص الكون -كما نفهمه- أقل ما يقال عنها أنها تصدم علماء الكونيات علىٰ غير العادة.

مشاكل كونية

إشكالية الطاقة المظلمة

إذا كنت قد قرأت ما بين السطور بعناية، وتتبعت تلميحاتنا المبهمة، فينبغي أن تكون قد استنبطت الآن ماهية الطاقة المظلمة.

نحن نمزح وحسب. فليس لدينا أية فكرة.

في الواقع، نحن نعلم القليل من الأشياء الأساسية عن الطاقة المظلمة. فنحن نعلم أنها تشكل ٧٣ بالمئة من طاقة الكون. ونعلم أنها تسبب تسارع التوسع الكوني. ومن هذا، نحن نعلم شيئا عن خصائصها، وبشكل خاص كيفية دخولها في معادلاتنا الكونية. لذا يمكننا أن نسأل: ماذا سيصبح الكون إذا كانت الطاقة المظلمة -كما نفهمها- مختلفة عما هي عليه؟ لنبدأ بإحداث تغير طفيف في كمية الطاقة المظلمة.

باختصار شديد، إن الإفراط في وجود طاقة مظلمة يمنع تشكل المجرة. فطالما أن أثر تثبيط المادة يتحكم في توسع الكون، ستنهار هالات haloes المادة المظلمة وتندمج وتحشد مزيدا من المادة من محيطها. ولكن حينما تكون المادة قد انتشرت علىٰ نحو ضئيل جدا لدرجة أن الطاقة المظلمة تسود، فإن توسع الكون المتسارع يزيد من سرعة تخفيف مادته. فتنفصل المجرات عن هالاتها haloes، ويبتعدا عن بعضهما جدا لدرجة أنها لا يمكنهما الاندماج أو حشد مزيد من المادة التي في الفضاء المجري. ونظرا لانقطاع إمدادات المجرات، فإنها

تستخدم ما لديها من غاز لصنع نجوم، وعندئذ ينتهي أمرها فور انطفاء النجوم وموتها.

في الواقع، تقع هذه المرحلة في مستقبل كوننا، وذلك عندما تسود طاقته المظلمة. ولكن في أكوان أخرىٰ ذات مزيد من الطاقة المظلمة، تأتي هذه المرحلة مبكرا، منهية تشكل المجرة قبل بدئه. حيث إن توسع الكون المتزايد سيدفع المادة إلىٰ خارج نطاق الجاذبية. ولن تنهار المادة.

وفي تلك الأكوان، سرعان ما تخف أي طاقة حرة مفيدة ناتجة عن تشكل النجوم وتصير غير مفيدة. فهذه الأكوان الباردة والموحشة مقدر لها الموت.

ثمة احتمالية أخرىٰ للنظر فيها، وهي أن الطاقة المظلمة يمكن أن تكون سالبة. والطاقة السالبة ليست هي الخاصية التي تمتلكها المادة أو الإشعاع. بيد أننا نعلم القليل جدا عن الطاقة المظلمة لدرجة تجعلها تظل احتمالية قائمة. وعلىٰ وجه خاص، كان من الممكن لثابت أينشتاين الكوني أن يكون سالبا.

فالطاقة المظلمة السالبة تعني أن الكون يسير في اتجاه انسحاق كبير. وشأنها شأن المادة، فإن الطاقة المظلمة السالبة تسبب تباطأ التوسع الكوني. ويكمن الفرق في أن أثر الطاقة المظلمة لا يخف بتوسع الكون. فلا يمكن للكون أن يتلافىٰ جاذبيته، ولا بد للتوسع حتما من أن يصير انكماشا.

ولن تؤثر كمية قليلة من الطاقة المظلمة السالبة في الحياة بشكل كبير. فسوف يعيش هذا الكون طويلا ويزدهر، منشئا العديد من المجرات والنجوم قبل نهايته الآيلة الىٰ الانسحاق. ولكن كلما زدنا كمية الطاقة المظلمة السالبة، تكون نهاية الكون أسرع. ولو ازدادت جدا، ستكون النهاية قبل تشكل المجرات والنجوم والكواكب ونشأة الحياة.

ومن ثم، يبدو أن محتوىٰ الطاقة في كوننا يسير في خط دقيق. فلو كان لدىٰ كوننا مزيج من الطاقة والمادة المظلمتين مختلف عما نرصده؛ لكان تاريخه التطوري مختلفا اختلافا جذريا. ومع وجود الطاقة المظلمة، يعد من السهل إلىٰ حد ما دمار الكون.

الإشكالية الحقيقية للطاقة المظلمة

ها قد وصلنا إلىٰ سر فاضح من أسرار الفيزياء الحديثة، وهو عار يُطلع عليه الطلاب في كتاب شهير كما يلي:

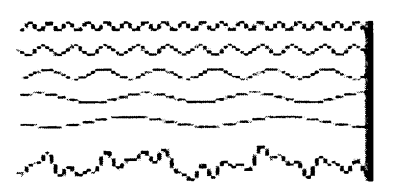
يمكن القول إنها أعقد المشكلات النظرية في فيزياء الطاقة العالية في يومنا هذا، بناء علىٰ كل من الاختلاف بين ما تم رصده والتنبؤات النظرية، وكذلك نقص الأفكار النظرية المقنعة التي تتناولها (Burgess and Moore, 2007, p. 439)

(هل تفكر في الحصول علىٰ دكتوراه في الفيزياء؟ فنحن بحاجة إلىٰ المساعدة!)

تكمن الإشكالية في هوية المادة المظلمة. فبينما يوجد الكثير من المجرمين المحتملين، أحد المتهمين الرئيسين هو عبارة عن شيء يدعىٰ الفراغ الكمومي.

تعرف أفضل نظرياتنا لفهم كيفية سلوك المادة بنظرية مجال الكوانتم، والتي مررنا بها في الفصل الثاني والثالث. لنفصل هذه الفكرة عما سواها. فالمجال في الفيزياء عبارة عن كيان فيزيائي موجود عند كل نقطة زمكانية. وفي المقابل، يوجد الجسيم في نقطة محددة من أي زمن.

والسمة الفريدة للمجال الكمومي هي أن تشكيلات معينة للمجال تصف الجسيمات التي حولنا. فإذا هززت المجال بطريقة ما، سيتحرك ويتفاعل شأنه شأن الجسيم. أو الجسيمين أو كميات الجسيمات. أو انعدام الجسيمات. فبالنسبة لنظرية مجال الكوانتم، ليس الإلكترون سوىٰ اهتزاز في مجال الإلكترون.



شكل ٣٠: من الناحية الرياضية، يمكننا تمثيل حالة الفراغ لمجال ما كطائفة من الموجات، لدىٰ كل منها طاقته المميزة، والتي تضاف إلىٰ مجموع طاقة الفراغ كله.

في الواقع، تتكون جميع المادة التي في الكون من اهتزازات في المجالات الكمومية: مجال الإلكترون، ومجالات الكواركات، ومجال الفوتون وغير ذلك. حيث تشكل اهتزازاتها وتفاعلاتها المشتركة حركة حياتنا اليومية وسلوكها.

فإذا أفرغنا مكانا ما من جميع الجسيمات -وهذه حالة تسمىٰ فراغا كموميا- يظل المجال. ولكن السؤال الحاسم بالنسبة لنا هو: كم يبقىٰ من الطاقة في المجال؟ تذكر أن المجال لا يزال موجودا، ولا يزال بوسعه الاهتزاز، في غياب الجسيمات.

في نظرية الجاذبية لأينشتاين، تعمل طاقة الفراغ هذه مثل الطاقة المظلمة، مسببة تسارع التوسع الكوني. فإذا تمكنا من حساب الطاقة، سنتمكن من التنبؤ بكمية الطاقة المظلمة في الكون. وقد يكون هذا انتصارا آخر لنظرية مجال الكوانتم!

ويساهم كل مجال في طاقة الفراغ. وعلاوة علىٰ ذلك، يمكن تمثيل حالة فراغ كل مجال كتسلسل موجي. حيث يظهر الشكل ٣٠ كيفية تجمع الموجات. فإن لكل مساهمة طاقة مميِّزة.

وإذا قمنا علىٰ نحو ساذج بحساب مجموع تلك الموجات كلها، ستكون الإجابة هي اللانهائية. وهذا ليس جيدا. فعادة ما تعني اللانهائية أننا وضعنا افتراضا أحمق، وفي هذه الحالة، ليس من الصعب التحقق من ذلك. فقد افترضنا أن نظرية مجال الكوانتم تظل وصفا دقيقا للمادة عند مستويات غير محدودة في الارتفاع. ومن الواضح أن هذا يتجاوز أدلتنا التجريبية إلىٰ حد بعيد.

في الواقع، إنه افتراض مريب علىٰ المستوىٰ النظري أيضا. حيث يوجد معيار طبيعي للطاقة، يعرف بطاقة بلانك، والذي نعتقد أنه لن يظل إهمال الجاذبية عنده ممكنا. في حين أن نظريات مجال الكوانتم لا تشمل الجاذبية، وتشير عملية حسابية بسيطة إلىٰ أن الجسيم الكمومي الذي لديه طاقة بلانك سوف يصبح الثقب الأسود بالنسبة لنفسه. وقد لا يحدث هذا فعليا، ولكن من المؤكد أننا لا يمكننا الثقة بأي نظرية تتجاهل هذا الأمر.

كما أن عدم اشتمال الفراغ سوىٰ علىٰ الطاقات وذلك حتىٰ معيار بلانك يسفر عن تنبأ ذي نهاية بالطاقة التي في الفراغ الكمومي، وهو أفضل من اللانهائية. ولكن كيف لها أن تشبه القيمة اللازمة لتفسير ما رصدناه عن التوسع المتسارع؟

فالتنبؤ أكبر $١٠^{١٢٠}$ مرة من القيمة المرصودة. تريث قليلا في استيعاب حجم هذا الرقم المهول. فهذا الإجابة خاطئة قولا واحدا.

لنفكر بشأنك، كإنسان عادي. كم بروتونا في جسدك؟ تظهر حسبة سريعة أن عددها يبلغ نحو $١٠^{٢٨}$، وهو رقم كبير جدا، ولكن من المفترض أنه لا شيء بالمقارنة مع $١٠^{١٢٠}$. كما يبلغ عدد البروتونات في جميع الناس الذين علىٰ الأرض نحو $١٠^{٣٨}$، ويبلغ عدد البروتونات في المجموعة الشمسية نحو $١٠^{٥٧}$، وها هي الأرقام تتزايد، ولكنها لم تبلغ الرقم المطلوب بعد.

لندخل في نطاق أوسع ونسأل كم عدد البروتونات الموجودة في الكون المرصود؟ حيث يمكننا عدُّ النجوم والمجرات، ويمكننا تقدير أنه لا بد من وجود نحو $١٠^{٨٠}$ بروتون. لا شك في أنك تظن الآن أننا لا بد وأن نكون قد وصلنا تقريبا، ولكننا في الواقع لم نقترب أصلا.

ولو كان ثمة كون مرصود لكل بروتون في جسم كل إنسان علىٰ الأرض، فحينئذ سيكون مجموع البروتونات التي جميع تلك الأكوان العديدة نحو $١٠^{١١٨}$، ولا يزال أصغر بمعامل يبلغ نحو ١٠٠ مرة عن الفرق بين الكثافة المتنبأ بها للطاقة في الفراغ وتلك التي رصدناها بالفعل. والآن يمكنك معرفة سبب كون هذا مدعاة للحرج بعض الشيء.

ولكن مهلا! إن طاقة بلانك أعلىٰ بكثير جدا من أي طاقة أنتجناها في التجارب العلمية، في الواقع إنها أعلىٰ بنحو ألف تريليون مرة. فينبغي أن نكون أكثر تحفظا علىٰ قدر ثقتنا في نظرياتنا.

هب أننا اخترنا طاقة قد فحصت فحصا شاملا من خلال تجارب فيزياء الجسيمات، وقد أسفر دونها عمل نظرية مجال الكوانتم علىٰ اختلاف. وتم

تقليص الفرق إلىٰ معامل يبلغ $١٠^{٦٠}$، فياله من نجاح! وحتىٰ مع حساباتنا الجديدة، لا تزال مختلفا مع الطبيعة بمعامل يبلغ $١٠^{٦٠}$. ورغم أن هذه بداية جيدة، عليك ألا تفرح بالنجاح الآن وأبقه للنهاية.

ربما ثمة آلية ما هنالك، ولكننا لم نفهمها بعد، بحيث تهذب الطاقة التي في الفراغ الكمومي، فبالرغم من أن القيمة التي نرصدها كبيرة جدا بطبيعتها، يبدو أن الطاقة التي تؤثر في توسع الكون أصغر بكثير جدا. ولكن يلزم من ذلك أن يكون ثمة شفرة حادة جدا، بحيث تقلِّم نحو $١٠^{١٢٠}$ وتترك الكمية المرصودة التي تبدو صغيرة. وسوف يبدو طبيعيا بالنسبة لعملية كهذه أن تحذف وجود الفراغ الكمومي تماما، بدلا من ترك هذه البقية الضئيلة جدا التي نراها حولنا.

ولكن ماذا لو لم تكن آلية كبح تأثير طاقة الفراغ الكمومي هذه غير فاعلة، وألغت تأثير $١٠^{١١٩}$ وليس $١٠^{١٢٠}$، بحيث تكون كثافة طاقة الفراغ ضعف ما نقيسه فعليا عشر مرات؟ تذكر أن طاقة الفراغ هذه تزيد من سرعة توسع الكون، مما يجعل الكون فارغا، ويلغي إمكانية النجوم والكواكب والناس حتما.

فإذا واجه الكون طاقة الفراغ الخام، سيصبح فارغا وميتا.

وهذه إشكالية الثابت الكوني، بالرغم من أن هذه التسمية خاطئة بعض الشيء. فالثابت الكوني الفعلي هو مجموع ثابت أينشتاين الكوني وجميع صور الطاقة في الكون والتي يشبه سلوكها سلوك الثابت الكوني. وطاقة الفراغ هي إحدىٰ صور تلك الطاقة. فالتوسع المتسارع لكوننا يرجع إلىٰ الثابت الكوني الفعلي. ولذا يكمن الإشكال في هذا التساؤل: لماذا الثابت الكوني الفعلي أصغر بكثير من كل من طاقات الفراغ؟

فإشكالية الثابت الكوني ليست سهلة كما لو كانت بمثابة «تنبؤ خاطئ». بل يمكن لطاقات الفراغ أن تكون موجبة أو سالبة، ومن ثم يمكن لجمع كل الطاقات المختلفة أن يجعلها تلغي بعضها بفعل معجزة إلىٰ درجة تبلغ ١٢٠ خانة عشرية. ولكن لا يزال الأمر بعيد الاحتمال جدا.

وكمثال علىٰ الضبط الدقيق، تعد إشكالية الثابت الكوني عاصفة شبه مثالية. وهذا أمر مهم، وإليك السبب بشيء من التفصيل:

١- إنها في الواقع مشكلات عديدة؛ فكل مجال كمومي -إلكترون، وكوارك وفوتون ونيوترينو إلخ- يضيف مساهمة كبيرة إلىٰ حد غير معقول لطاقة الفراغ الكوني.

٢- لن تساعد النسبية العامة. فنظرية أينشتاين تربط الطاقة والزخم بهندسة الزمكان. وهي لا تحدد أي طاقة وأي زخم يوجد في الكون. كما أن الأكوان التي لا تصلح للحياة مقبولة تماما وفقا لمبادئ النسبة العامة.

٣- لن تساعد فيزياء الجسيمات علىٰ الأرجح. فعمليات فيزياء الجسيمات -تلك التي تصفها نظرية مجال الكوانتم- لا تعتمد سوىٰ علىٰ الفروق في الطاقة. حيث يمكننا تغيير القيم المطلقة لجميع الطاقات التي في فيزياء الجسيمات ومع ذلك تظل جميع التفاعلات كما هي. فالجاذبية وحدها هي التي تكترث بالطاقات المطلقة. وبذلك، فإن فيزياء الجسيمات عاجزة عن رؤية أثرها في الكوزمولوجيا -ومن ثم في الحياة- إلىٰ حد بعيد.

٤- فهي ليست إشكالية علىٰ معيار بلانك وحسب، ولذا ليس من الضروري أن تفيد جاذبية الكوانتم. وكما ذكر سلفا، لسنا بحاجة إلىٰ الثقة بنظرية مجال الكوانتم علىٰ امتداد الطريق وصولا إلىٰ طاقة بلانك لكي نرىٰ إشكالية الثابت الكوني. بل إنها راسخة بقوة في الفيزياء المفهومة فهما جيدا، والمختبرة اختبارا جيدا.

٥- كما أن لدىٰ الصور البديلة للطاقة المظلمة نفس الإشكالية. فالطاقة المظلمة -وهي ما تسبب تسارع توسع الكون أيا ما تكن- قد لا تكون طاقة فراغ. ولكن عادة ما تضع الصور البديلة للطاقة المظلمة نوعا آخر من المجال، وبذلك تعود إشكالية طاقة فراغ المجال كما هي ومن دون حل.

٦- ولا يمكننا استهداف الصفر. فقبل اكتشاف التوسع المتسارع للكون، كان يعتقد أن مبدأ أو تناسقا ما قد يجعل الثابت الكوني صفرا. وحتىٰ هذا كان ضربا من الأمل المبني علىٰ التخمين، وقد تبخر عندئذ.

٧- كما أن لدىٰ الفراغ الكمومي آثارا مرصودة، ولذا لا يمكن استبعاده باعتباره محض خيال. وعلىٰ وجه الخصوص، يتأثر الإلكترون الذي في الذرة بالفراغ الكمومي المحيط(١) حيث تعمل نظريتنا بشكل رائع بالنسبة للإلكترونات والذرات. فلماذا لا يتأثر التوسع الكوني بالأثر الكامل للفراغ الكمومي؟

٨- ويتضح جليا أن الثابت الكوني (الفعلي) مضبوط بدقة. فهو يعتبر أفضل حالة ضبط دقيق في محيطنا. فما من طريقة أبسط لجعل كون ما ميتا من تفريغه من أية بنية مهما تكن. يمكنك جعل الثابت الكوني أكبر قليلا وسيصبح الكون حساء غثًّا من الهيدروجين والهيليوم؛ عبارة عن غاز منتشر لا يحدث فيه سوىٰ الاصطدام العارض للجزيئات. حيث تقضي الجسيمات حياتها وحيدة، تجول في فضاء خال، من دون أن ترىٰ جسيما آخر لتيرليونات الأعوام، وحتىٰ عندئذ، بمجرد أن تلمحه، تعود ثانية إلىٰ الفراغ.

ولهذا نحتاج إلىٰ مساعدة!

هل هذه المادة تجعلني أبدو مسطحا؟

كما ذكرنا سلفا، فإن ثوابت الكون تحدد هندسته. وعلىٰ وجه الخصوص، فإن كثافة الطاقة الحرجة تفصل الأكوان المفرطة الكثافة والمنحنية في الاتجاه الموجب عن الأخرىٰ القليلة الكثافة والمنحنية في الاتجاه السالب. وفي الخط الفاصل تماما، تكون الأكوان مسطحة، وفقا لهندسة إقليدس المألوفة.

وقد تبين أن كوننا قريب جدا من كثافة الطاقة الحرجة لدرجة أننا لا ندري ما إذا كنا مسطحين -يعني كوننا- تماما أو منحنين قليلا جدا. حيث تبلغ دقة قياساتنا نحو واحد بالمائة، ولكننا قريبين جدا من الخط الفاصل لدرجة أن هذه الدقة غير كافية لتحديد في أي اتجاه من الخط نقع.

وهذا الأمر يجعل علماء الكونيات منزعجين بعض الشيء، وذلك لما سلف ذكره في الفصل الأول. فالنظرية الفيزيائية ذات المعامل الحر هي في الواقع عبارة

---

(١) وبالنسبة للخبراء، يُدعىٰ «انزياح لامب» (Polchinski, 2006).

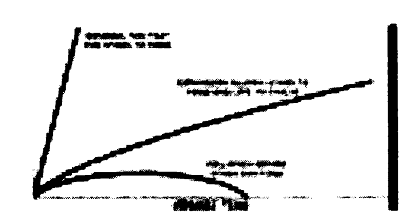
عن طائفة من النظريات؛ كواحدة لكل قيمة من قيم المعامل. سيبدو الأمر مريبا عندئذ إذا كنا بحاجة لضبط هذا المعيار ضبطا دقيقا. فإذا لم يفسر النظرية سوىٰ نسبة ضئيلة من طائفة النظريات؛ سيكون الباب مفتوحا حينئذ لنظرية بديلة.

وبالعودة إلىٰ كوننا، فإن كونه لديه كثافة تقع ضمن نحو واحد بالمائة من قيمة حرجة ليس أمرا مريبا جدا. حيث تكمن الإشكالية الحقيقة في أن هذه هي كثافة الكون اليوم. فلنتبع إذن سابق عهد الكون لنكتشف ظروفه الأولية. وعند قيامنا بذلك، تظهر ارتيابات الضبط الدقيق.

فبينما يتباطأ توسع الكون، يزداد انحناء الأكوان المنحنية. وتظل الأكوان المسطحة تماما كما هي، ولكن اقل انحناء يحدث سرعان ما يتضخم. ونظرا لأن كوننا (وفقا لعلم الكونيات القياسي Standard Cosmology) كان يتباطأ علىٰ مدار البضعة مليارات سنة الأولىٰ من وجوده، فلا بد وأن ظروفه الأولىٰ كانت مضبوطة بدقة غير معقولة لكي يبدو مسطحا اليوم. لنفترض أننا نرجع شريط حياة الكون إلىٰ بداية تشكل العناصر الأولية، وذلك بعد دقائق معدودة من الانفجار الكبير. وعندئذ لكي يصبح كوننا مسطحا في حدود واحد في المائة، لا بد وأنه كان مسطحا في حدود واحد في ألف تريليون (واحد يليه ١٥ صفر). يا له من أمر مريب!

كما أن لف عقارب الساعة إلىٰ الخلف لا يزيد الأمر إلا سوء. فإن أقصىٰ ما يمكننا لف عقارب الساعة نحوه للوراء هو ما يدعىٰ زمن بلانك، فنحن بحاجة لنظرية جاذبية كمومية للتنبؤ بما يحدث قبل هذا الحد الزمني. (وليست لدينا نظرية كهذه. أو علىٰ الأقل، ليست لدينا نظرية مفهومة فهما جيدا ومجربة تجربة جيدة.) حيث تبلغ قيمة زمن بلانك $١٠^{-٤٤}$ ثانية. فعند هذا الزمن، تبلغ دقة الضبط الدقيق عبارة عن جزء من $١٠^{٥٥}$. وهي أكثر ريبة!

وهذه تدعىٰ إشكالية التسطح (flatness problem). وهي إشكالية خاصة بعلم الكونيات cosmology، وهي كذلك بالنسبة للحياة.



شكل ٣١: بالاعتماد علىٰ محتويات الأكوان، يمكن أن يكون لديها توسعات مختلفة ذات تأثير كبير علىٰ الحياة فيها.

ولفهم هذا، لنعد للظروف الأولية ونعبث بها (الشكل ٣١).

ما هي احتمالات الحياة في تلك الأكوان التي تشبه جيمز دين James Dean وكورت كوباين Kurt Cobain في كونها تعيش بسرعة وتموت في سن مبكرة؟ كلما زدنا الكثافة الأولية للمادة في تلك الأكوان، تحيا حياة طويلة تبلغ العديد من مليارات السنين، وستكون الظروف مشابهة للكون الذي نسكنه الآن. ولكن كلما استمرينا في إنهاء الكثافة، تقصر فترة حياة الكون شيئا فشيئا: مليار سنة، ثم مليون سنة، ثم ألف سنة، ثم سنوات معدودة، ثم أسابيع ثم ساعات ثم ثوانٍ من الواضح أن هذا نذير شؤم للحياة.

ولذا فإن الإفراط في كثرة المادة أمر سيئ. ولكن ماذا لو سرنا في الاتجاه الآخر، وقللنا كمية المادة بداية في الكون؟ الآن، سننسىٰ أمر وجود الطاقة المظلمة، وسوف ندرس كونا ليس به سوىٰ مادة.

إن وجود مادة أقل قليلا، ينشئ أكوانا تتوسع بسرعة كبيرة جدا لدرجة أنها ببساطة تصبح خالية. وستكون كثافة المادة المظلمة والغاز قليلة جدا لدرجة أن الذرات ربما تكون منفصلة عن بعضها بمليارات لا حصر لها من السنين الضوئية. وفي تلك الأكوان، ما من فرصة لتشكل أبنية، ولا لمرور غاز إلىٰ المجرات والنجوم الناشئة، وفي حين أن تلك الأكوان ستعيش إلىٰ الأبد، إلا أنها ستظل عبارة عن أماكن مظلمة وميتة إلىٰ الأبد.

وبفضل الضبط الدقيق للكثافة الأولية للكون، لا يتطلب الأمر كثيرا لتحفيز توسع انتحاري. وإذا نظرنا إلىٰ كثافة الكون بعد نانوثانية فقط من الانفجار

الكبير، نجد أنها كانت مهولة؛ حيث كانت تبلغ نحو ٢٤ ١٠ كيلوجرام للمتر المكعب. وهذا رقم كبير، ولكن لو كانت كثافة الكون أعلىٰ بمجرد كيلوجرام واحد لكل متر مكعب؛ لكان الكون قد انهار الآن. ولو كان أقل بكيلوجرام لكل متر؛ لكان الكون قد توسع بسرعة مفرطة لدرجة تمنعه من تشكيل نجوم ومجرات.

وكلما اقتربنا من الانفجار الكبير، تزداد درجة الضبط الدقيق. فكثافة الكون سرت علىٰ حافة سكين كونية، بحيث إن أصغر ضغطة علىٰ الأزرار الكونية ستمحو قصة تشكل المجرات التي قصصناها في الفصل السابق، وتستبدلها بقصة أكثر مللا بكثير. ولن تنهار المادة المظلمة إلىٰ هالات، ولن تنهار المادة العادية إلىٰ أقراص، ولن تنقسم الأقراص إلىٰ نجوم، ولن تنشأ العناصر الأكبر التي في الجدول الدوري في النجوم وتنتقل إلىٰ الكواكب. وسيكون الكون تقريبا محض حساء موحد من الهيدروجين والهيليوم، وسوف تنسحق ذراته من فورها تحت تأثير جاذبيته أو يقدر لها أن تسير وحيدة في فضاء لا نهائي.

آفاق مفقودة

وفي الوقت نفسه تقريبا الذي تبينا فيه مشكلة التسطح، ظهرت إشكالية أخرىٰ. ففي سبعينات القرن العشرين، بدأ علماء الكونيات يتذمرون من أن الكون كان سلسا أكثر من اللازم!

وبمجرد أن نحل معادلات أينشتاين، لن يكون بمقدورنا اقتفاء تاريخ المادة في الكون وحسب، بل وأيضا مسار أي جسيم ضوء يسير خلاله. وعلىٰ وجه الخصوص، يمكننا حساب أي أجزاء الكون كان بوسعها التواصل مع بعضها من خلال إرسال أشعة ضوئية. ومن هنا بدأت الإشكالية.

تذكر أن إشعاع الخلفية الميكروي يشبه نجما من باطنه إلىٰ ظاهره، فهو عبارة عن قشرة من مادة متوهجة موجودة حولنا. ارتد زوجا من نظارات الكشف عن الأشعة الميكروية وانظر في اتجاه معين نحو سماء الليل. سترىٰ حينئذ دفعة ما من الغاز (سمها الدفعة أ) والتي ترجع إلىٰ ٣٧٨٠٠٠ سنة بعد الانفجار الكبير. والآن التفت إلىٰ يسارك درجتان فقط وانظر إلىٰ السماء، وسم هذه الدفعة (ب). يمكننا حساب أن الدفعة أ والدفعة ب بعيدتين جدا عن بعضهما إلىٰ حد لا يسمح لأي ضوء أن يمر بينهما في غضون الـ ٣٧٨٠٠٠ عام منذ الانفجار الكبير. فهما لا يعرفان شيئا عن بعضهم البعض. تماما كما الحال بالنسبة للسفن التي في المحيط والبعيدة جدا عن بعضها لدرجة لا تسمح لهما برؤية بعضهم البعض -حتىٰ باستخدام تلسكوبات مثالية- لأنهما متجاوزين لأفق كليهما؛ ولذا نقول إن

هاتين الدفعتين متجاوزتين أيضا لأفق كليهما، وهو الأفق الذي حددته سرعة الضوء.

ومع ذلك، فإن لدىٰ هاتين الدفعتين درجة الحرارة نفسها بفارق يبلغ جزء في ١٠٠٠٠٠.

وتعرف هذه الإشكالية بإشكالية الأفق. حيث يمكننا رؤية ملايين المناطق الكونية التي تقع خارج آفاق كل منها وذلك في إشعاع الخلفية الميكروي. فلا يمكنها أن ترىٰ بعضها. ومع ذلك فهي متطابقة تقريبا.

عادة ما تكون درجة الحرارة الموحدة من الأمور العادية جدا. فالهواء الذي في غرفة ما لديه درجة الحرارة نفسها تقريبا، وهذا لسبب قوي. وهو أن الأشياء الساخنة تسخن الأخرىٰ الباردة. والعكس صحيح. فلو كان جزء ما من هذه الغرفة أسخن من الآخر، لتدفقت الحرارة إلىٰ أن تتساوىٰ درجة حرارتهما. وكل ما نحتاج إليه هو اتصال بعضهما ببعض.

وفي كون آخذ في التباطؤ منذ الانفجار الكبير، ببساطة لم يكن هنالك متسع من الوقت يسمح لدفعات إشعاع الخلفية الميكروي CMB هذا أن تتصل ببعضها مطلقا. ولنا أن نفترض ببساطة أن الكون قد بدأ بدرجة حرارة موحدة، ولكن هذا يبدو كأنه إشكالية ضبط دقيق أخرىٰ، فهي تنظيم آخر مريب لا تفسير لوجوده.

إن درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروي التي تعتبر موحدة تعني أن الكون في أول عهده كان سلسا تقريبا. فقد تحولت كثافة الكون عن المتوسط بما لا يزيد عن جزء في ١٠٠٠٠٠. ويعرف هذا الرقم (جزء في ١٠٠٠٠٠) بالرمز. (Q). وليس لدينا أدنىٰ فكرة عن سبب حصوله علىٰ تلك القيمة، إلا أن سلاسة smoothness كوننا هذه لازمة لأجل الحياة.

وقد رأينا في مطلب سابق كيف أن تلك التكتلات والصدمات هي بذور البنية في الكون، وهي التي تنموا إلىٰ مجرات. ومنذ تلك المراحل المبكرة، كانت الجاذبية هي القوة المحركة، فقد أخلت بعض المناطق من المادة وجعلتها

فراغات كونية هائلة، وجعلت المادة تتدفق إلىٰ أماكن حتىٰ صارت مجرات وعناقيد نراها من حولنا اليوم.

فمن دون تلك البذور، لم تكن تلك القصة لتبدأ. فلو بدأ كون ما بتماثل تام، لما كان لدىٰ الجاذبية ما تمسك به. حيث إن الكون سيتوسع ويبرد، ولكن ستبقىٰ المادة سلسة smooth إلىٰ الأبد. ففي كون متناسق smooth universe كهذا، ببساطة لن تتشكل البنية الكونية؛ فلن يكون ثمة مجرات ولا نجوم ولا كواكب، ومن ثم لا حياة.

ولذا لا يمكن لكون يسمح بوجود الحياة أن يكون متناسقا جدا بعد ميلاده، بل لا بد وأن توجد بعض التكتلات لدىٰ توزيع المادة والإشعاع.

وفي الواقع، إن (Q) يشبه -في دقته- شخصية جولديلوكس[(١)] Goldilocks وهي تختبر عينات حساء الدببة؛ فهو لا بد وأن يكون مناسبا تماما.

أولا، لا يمكن لـ (Q) أن يكون صغيرا جدا. تذكر الدور المهم الذي يؤديه تبريد الغاز في تشكل المجرات. كما أن الجاذبية عظيمة ولكنها غير كافية؛ فنحن بحاجة إلىٰ أن يشع الغاز طاقته الحرارية بعيدا إذا كان سيكمل انغماسه الأخير في مجرة ما.

وبتقليل (Q) بمعامل يبلغ ١٠ إلىٰ جزء في المليون، تظل المادة العادية منتشرة وساخنة وغير مضطربة. فما من هالة مادة مظلمة هي الموطن لتسرع برود الغاز. كما أن ضغط هذه المادة الساخنة يبقىٰ الجاذبية بمنأىٰ عنه، مانعا انهيارها وتقسيمها إلىٰ نجوم. وغياب النجوم يعني غياب الكواكب والحياة.

---

(١) هي قصة تراثية إنجليزية لفتاة تُدعىٰ جولديلوكس ذات شعر ذهبي دخلت إلىٰ بيت لثلاثة دببة، فجربت حساء كل واحد منهم فكان الأول ساخنا جدا والثاني باردا جدا والثالث مناسب لا حار ولا بارد فتناولته إلىٰ آخر القصة، ووتشتهر تلك القصة بمدلوليتها علىٰ الدقة والإعداد بعناية ومن هنا تم استخدام ذاك المصطلح في الفلك وعلم الكونيات ليدل علىٰ لغز الضبط الدقيق منذ أن تم اكتشافه ولبول ديفيز كتاب بهذا المسمىٰ The Goldilocks Enigma المترجم]

ما الذي سيحدث لو رفعنا قيمة (Q) عن جزء في ١٠٠٠٠٠؟ من الواضح أنه عند وجود (Q)، سيتعين علىٰ الجاذبية فعل المزيد، وستتكثف المناطق وتنهار في المراحل الأولىٰ من الكون. وسينهار الغاز في تلك المجرات البدائية الضخمة ويشكل نجوما، ولكن سيتم حشد المزيد والمزيد من النجوم في مناطق أصغر، وسوف ينتج عن هذا الحشد العديد من المواجهات القريبة بين النجوم، والذي سيقضي علىٰ احتمالات تشكل كواكب في مدارات مستقرة.

كما أن رفع قيمة (Q) لأكثر من ذلك سيسفر عن انهيار مناطق هائلة من الكون إلىٰ ثقوب سوداء بفعل الجاذبية، ويبلغ وزن كل من تلك الثقوب السوداء أكثر من آلاف المجرات المنفردة. وفي كون كهذا، سيتم حبس جميع المادة الخام للنجوم والكواكب والحياة خلف آفاق الثقوب السوداء ذات الاتجاه الواحد، وسيموت الكون ويصير عقيما.

ما الحجم الذي ينبغي أن تبلغه (Q) من دون أن ننشئ أكوانا كارثية كهذه؟ ينبغي ألا تكون كبيرة علىٰ الإطلاق. فلو كانت (Q) جزءً في ١٠٠٠٠٠؛ فسوف تحدث النجوم القريبة اضطرابا لدىٰ الكواكب التي في مداراتها. ولو كانت (Q) جزءً في ١٠٠؛ فسوف تتراكم الثقوب السوداء عندئذ.

ولذا فإن قيمة (Q) -التكتل الأولي لدىٰ الكون- بحاجة إلىٰ أن تضبط لدرجة عالية لضمان بداية هادئة بشكل معقول بالنسبة لتشكل بنية الكون، ولكن ليس بداية شديدة الهدوء لدرجة تمنع التشكل مطلقا.

التضخم الكوني

لقد أغفلنا بعض الثغرات، وقليلا من الاحتمالات والافتراضات.

فإشكالية التسطح وإشكالية الأفق يتبعان من افتراض -إلىٰ جانب أشياء أخرىٰ- أن المادة والإشعاع كانا يسودان علىٰ الطاقة في المراحل الأولىٰ للكون. حيث إن تباطؤ الكون يقوده بعيدا عن التسطح ويعزل دفعات سماء الأشعة الميكروية.

وهذا يقدم حلا: وهو عبارة عن حقبة التوسع المتسارع في مراحل الكون المبكرة جدا. وتعرف هذه الفكرة التي طورها كل من آلان غوث Alan Guth وأندريه ليندي Andrei Linde وأليكسي ستاروبينسكي Alexei Starobinsky وبول شتاينهارت Paul Steinhardt وأندرياس ألبريشت Andreas Albrecht في أواخر سبعينات وأوائل ثمانينات القرن العشرين بالتضخم الكوني.

ولحل تلك المشكلات، لا بد وأن التضخم كان شديدا جدا. حيث بدأ عقب الميلاد الأولي للكون بنحو $١٠^{-٣٥}$ ثانية، واستمر حتىٰ $١٠^{-٣٤}$ ثانية. وفي هذا الوقت، تضاعف حجم الكون ما لا يقل عن ٨٠ مرة (نحو تريليون تريليون مرة). تصور تضخم حبة رمل إلىٰ حجم مجرتنا، الذي يزيد عن ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية في كل اتجاه.

وبالرغم من أن التضخم لا يستمر سوىٰ لبرهة، إلا أن تسارع التضخم يخفف من حدة منحنىٰ الزمكان، مما يجعل الكون أشبه ما يكون بالمسطح. كما

أن هذا يضمن أن سماء أشعتنا الميكروية لا ترىٰ سوىٰ دفعة صغيرة من الكون قبل التضخم. وعلىٰ وجه الخصوص، نحن نرىٰ دفعة علىٰ درجة كافية من الصغر لكي تبلغ درجة الحرارة نفسها.

كما يقدم التضخم تنبؤًا إضافيا. فالكون غير موحد تماما بسبب الاهتياج الكمومي لكل من المادة والمكان نفسه خلال التضخم. فهو مزود بالبنية المغروسة فيه؛ تلك التكتلات والتعرجات التي (كما رأينا) ستستمر لتشكِّل المجرات. ويكمن إبداع التضخم في أنه من خلال القليل من التقلبات والمنعطفات الرياضية، يمكنه التنبؤ بالخواص الإحصائية لتلك التقلبات (وليس فقط حجمها Q)، ويمكنه تعديلها لتصير مناسبة.

هل انتهينا؟ وهل حُلَّت إشكالية الضبط الدقيق؟ علىٰ أي حال، لدينا نظرية علمية ناجحة وقابلة للاختبار تفسر الضبط الدقيق للمتغيرات الكونية. أليس كذلك؟

لا تتسرع. فإشكالية نظرية التضخم الكوني هي أنها ليست نظرية فعلا. فلا يوجد فيزياء.

حيث جرىٰ تعريف التضخم علىٰ أنه فترة تسريع التوسع. وكما رأينا، فإن توسع الكون (سواء كان متسارعا أو لا) ناتج عن محتويات طاقة الكون. فما الذي يسبب التضخم؟ هذا ما لا تفصح عنه الفكرة نفسها.

فالتضخم عبارة عن نتيجة، وليس سببا. فهو نتيجة تُحدِث نتائج أخرىٰ مرغوبة. ولكن ثمة مئات الأفكار حول ما يمكنه إحداث التضخم، والتي ليس بينها اختلاف كبير.

ويمكننا قياس التضخم علىٰ الكرة البيضاء في لعبة البلياردو. فإذا وضعت في المسار المناسب، يمكنها دفع الكرة الهدف بعناية في جيب الزاوية. ولكن هذا ليس تفسيرا كاملا لتلك الدفعة: فقد أغفلنا عصا البلياردو.

فأي أنواع الطاقة يمكن أن يسبب تضخما؟ يحتمل أن يكون مجالا ما، وبما أن المجالات تأخذ أسماء جسيماتها المصاحبة؛ فعادة ما يُدعىٰ «مجال

التضخم»، وهذا الكائن الذي يبدو مثيرا للإعجاب ما هو إلا مرادف لقولنا «نحن لا ندري شيئا».

فأي نظرية فيزيائية للتضخم بحاجة إلىٰ ستة أشياء علىٰ الأقل.

أ- نحن بحاجة إلىٰ إحدىٰ صور الطاقة ذات الضغط السالب. فكما رأينا في نقاشنا حول الطاقة المظلمة، يقوم الضغط السالب بتسريع توسع الكون. ولا يمكن أن يكون سبب التضخم هو الطاقة المظلمة، لأنها ببساطة تفتقر إلىٰ القدرة علىٰ إمداد هذا التوسع السريع بالطاقة. ولذا نحن بحاجة إلىٰ إحدىٰ صور الطاقة الأخرىٰ غير المعروفة.

ب- لا بد وأن يبدأ التضخم. ولا بد وأن يسيطر مجال التضخم -عند مرحلة ما- علىٰ التوسع الكوني. فنحن لن نحصل علىٰ توسع متسارع إذا غُمرت طاقة التضخم بطاقة المادة والإشعاع.

ج- وبعد البداية، لا بد أن يستمر التضخم. ولحل إشكالات التسطح والأفق، نحن بحاجة إلىٰ مضاعفة حجم نطاق الكون ٨٠ ضعفا علىٰ الأقل. فالتضخم بحاجة إلىٰ الضغط بقوة علىٰ دواسة البنزين!

د- وبعد استمرار التضخم، لا بد من انتهائه. وهذا أمر مهم! فخلال التضخم، تخف المادة بمعامل يبلغ علىٰ الأقل تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون، وعند نهاية التضخم، لا يوجد ما يشكل أيا من بنية الكون، ناهيك عن الحياة.

هـ- وبعد التضخم، لكي يكون لدينا أي أمل في وجود بنية كونية، لا بد من إعادة ملء الكون بالمادة والإشعاع. وكما ظهر التضخم فجأة، فينبغي أن يتلاشىٰ الآن، ولكن في أثناء قيامه بذلك، ينبغي تحويل طاقته إلىٰ المادة والإشعاع العاديين.

و- وبينما تتدفق الطاقة والإشعاع عائدة إلىٰ الكون، ينبغي ألا يكونا سلسين أو متكتلين علىٰ نحو مفرط. تذكر من خلال ما ناقشناه سلفا أن الحياة بحاجة إلىٰ

كمية محددة جدا من التكتل: حيث إن (Q) تتراوح بين واحد في المليون، وواحد في عشرة آلاف.

وبدون معرفة ماهية التضخم، من الصعب إصدار حكم بشأن ما إذا كانت تلك المتطلبات شائعة أم أنها مضبوطة بدقة. ومع ذلك، لدينا بعض التلميحات.

أسهلها على الأرجح هو (ج): فبمجرد أن يبدأ التضخم، ليس من الصعب إبقاؤه. حيث إن لدينا بعض التلميحات حول كيفية تحقيق (د) و(هـ). وفي حين أن الأفكار الأولية حول التضخم قد عانت «إشكالية الخروج المشرِّف»، يمكن للنظريات الأحدث أن تنهي المهمة. فيما عدا أن مجال التضخم لا يزال مجالا كموميا آخر يُتوقع مساهمته في طاقة فراغ الكون. وإذا كانت طاقة الفراغ كبيرة جدا فور انقضاء التضخم (سواء كانت سالبة أو موجبة)؛ فإما أن تستمر في تسريع توسع الكون أو سرعان ما تنهي الكون من خلال انسحاقه.

قد تكون (أ) أسوأ من الطاقة المظلمة؛ فلا يمكن أن تكون طاقة فراغ وحسب. فطاقة الفراغ لا تتوقف. ولذا فحري بنا ألا نعلم شيئا عن التضخم. كما أن لدينا عدد كبير للمرشحين لأداء الاختبار، والقليل من التلميحات فيما يتعلق بمن ينبغي استبعاده.

كما أن (ب) إشكالية رئيسة. فلا يزال محل جدل بين علماء الفلك ما إذا كان متوقعا أن يحتل التضخم مركز الصدارة في أي كون قديم، أو أنه نفسه بحاجة إلى ظروف أولية خاصة مضبوطة بدقة. فعلى سبيل المثال، تستلزم الكثير من أفكارنا أن يتحكم التضخم في منطقة كبيرة سلسة حتى قبل بدئه. ولكن المنطقة الكبيرة السلسلة هي عين ما أردنا تفسيره عن طريق التضخم. وبالمثل، فإن المجال الذي يمكنه إنتاج تضخم يشبه حالة إنتروبيا منخفضة. فعندئذ، لا ينجح التضخم سوى في استبدال ضبط دقيق بضبط دقيق غيره.

وفي النهاية، فإن (و) هي «إشكالية الضبط الدقيق الشهيرة المتعلقة بالتضخم»، وفقا للبروفيسور نيل توروك بمعهد بريمتر للفيزياء النظرية (٢٠٠٢). حيث يمكن للتضخم عمليا إنتاج أية قيمة من قيم (Q)، بدء من صفر وحتى قيم

كبيرة جدا. وإذا كانت (Q) أكبر من واحد، سيكون الكون مليئا بالثقوب السوداء، وهذه في الواقع ليست فكرة جيدة. فلا بد أن تكون خواص التضخم مضبوطة بدقة لإنتاج القيمة المناسبة لـ (Q)، ولذا فنحن نستبدل ثانية ضبطا دقيقا بضبط دقيق غيره. ولذا فإن التضخم يزيد إشكالية الثابت الكوني تعقيدا، ويبدو أنه بحاجة إلىٰ ضبط دقيق لحل إشكالية التسطح والتكتل (Q). وفي حين أن التضخم فكرة تنبؤية بشكل مذهل، ومن المؤكد أنها قد تفسر كثيرا مما يتعلق بكوننا، إلا أننا لم ننته بعد.

أثر «النيوترينو المتواضع» (Humble Neutrino)

ثمة مؤشر كوني آخر لا بد للحياة أن تجعله نصب عينها. فبإعادة النظر في تشكيلة الجسيمات التي يتكون منها النموذج القياسي، ثمة ثلاثة جسيمات أخرىٰ لم نناقشها باستفاضة، وهي النيوترينوات.

فالنيوترينوات (التي يرمز لها بـ "νe" و"νμ" و"ντ") تنشأ في التفاعلات النووية، ولكن من الصعب جدا رصدها. ونظرا لأنها لا تحمل أي شحنة؛ فهي لا تتفاعل مع الجسيمات المشحونة الأخرىٰ من خلال القوة الكهرومغناطيسية. فعندما ينشؤون في تفاعلات نووية، سواء في محطة طاقة نووية علىٰ الأرض، أو في التفاعلات التي في باطن الشمس، سرعان ما يسرون عبر المادة منطلقين إلىٰ الفضاء.

وقد ظل الحديث عن كتلة النيوترينو -أغلب الوقت- أمرًا يسيرا. فمنذ التنبؤ بوجودها في ثلاثينيات القرن العشرين، أظهرت التجارب أن النيوترينوات لا تمتلك كتلة علىٰ الإطلاق. فهي عديمة الكتلة، شأنها شأن فوتونات الضوء عدا أننا لا نستطيع رؤيتها. ضوء ممل. كم كنا مخطئين!

تبدأ قصتنا في باطن الشمس. فالتفاعلات النووية التي تمد الشمس بالطاقة -بالإضافة لكونها مصدرا للضوء- هي منتِج عجيب للنيوترينوات. في الواقع، إن ما يقارب مائة مليار من النيوترينوات الشمسية تسري الآن خلال كل سنتمتر مربع من جسدك كل ثانية.

يمكننا الشعور بكمية الطاقة التي تصدرها الشمس ببساطة عن طريق أخذ حمام شمس في أحد أيام الصيف، وباستخدام مُعدات بسيطة، يمكننا التوصل لأن ما يزيد عن ألف جول من الطاقة يصطدم بكل متر مربع من الأرض في وقت الظهيرة. ومن خلال هذا -إلىٰ جانب شيء من الفيزياء- يمكننا استنتاج سرعة حرق الأفران النووية في باطنها، وكذلك يمكننا استنباط التدفق المتوقع للنيوترينوات علىٰ سطح الأرض. وفي حين أنه من الصعب رصد النيوترينوات، إلا أنه ليس مستحيلا، وعلىٰ مدار الثلاثين عاما الماضية تمكنا من قياس تدفقها من الشمس. وقد ظهرت إشكالية. إشكالية كبيرة!

حيث قام العلماء بعد النيوترينوات التي رصدتها أجهزتهم، وحسبوا أنها لم تبلغ سوىٰ ثلث العدد المتوقع. وهذا أمر سيء جدا. حيث فتش المنظرون في قوانين الفيزياء النووية، ولم تظهر لهم هنالك أية إشكالية.

ففي النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات (الشكل ٩)، ثمة ثلاثة أنواع للنيوترينوات، واحد لكل من الليبتونات الضخمة. وأحدها مرتبط بالإلكترون، وواحد مرتبط بكل من أشقائه الأثقل: الميون والتاوون. حيث يغلب علىٰ التفاعلات النووية في الشمس إنتاج نوع واحد من تلك النيوترينوات، وهو نيوترينو الإلكترون، وقد صُممت أجهزت الاستشعار علىٰ التي علىٰ الأرض لقياس تدفق هذا النوع من النيوترينوات التي تمر خلاله.

ولذا، فبالنظر إلىٰ النيوترينوات التي تتدفق من باطن الشمس، ماذا لو كان بعضها من الأنواع الأخرىٰ، بدلا من أن يكون جميعها نيوترينوات إلكترونية؟ ما الذي من شأنه فعل ذلك؟

ليست الإجابة في تفاعلات الفيزياء النووية التي تمد الشمس بالطاقة؛ لأننا علىٰ علم بأنها لا تنتج سوىٰ نيوترينوات إلكترونية، فلا بد أن شيئا ما يحدث خلال رحلتهم من الشمس إلىٰ الأرض. ولفهم هذا، علينا أن نستدعي بعض الغرائب التي تحدث في عام ميكانيكا الكوانتم (لا تخف؛ فعالم الكوانتم ليس غريبا إلا إذا أصررت علىٰ مقارنته بالتجارب اليومية).

إن ما يحدث للنيوترينوات الإلكترونية يدعىٰ خلط كمومي. ففي أثناء رحلتها، يمكن للنيوترينو الإلكتروني أن يغير موقعه ويصبح نيوترينو ميوني أو تاووني. وتغيير المواقع هذا أمر دوري، وشأنه شأن التغيرات المتقلبة للأزياء، يمكن يجد النيوترينو نفسه قد تحول إلىٰ نيوترينو إلكتروني ثانية.

ويحدث هذا الخلط طوال مسار الرحلة، وبينما تخلق الشمس مائة في المائة نيوترينوات إلكترونية، إلا أنها ريثما تصل إلىٰ الأرض، لا يبقىٰ من هذا النوع سوىٰ ثلاثة وثلاثين في المائة، بينما يصبح السبعة وستون الآخرون خافين عن أجهزة الاستشعار التي صُممت لتسجيل مرور النيوترينوات الإلكترونية. ها قد حل الإشكال.

حيث يكشف خلط النيوترينوات حقيقة شديدة الأهمية عنهم، وهي أن لديهم كتلة. صحيح أنها كتلة صغيرة جدا، لكنه لا زالت كتلة.

في الواقع، كان باستطاعة الكتلة الصغيرة للنيوترينوات إحداث اختلاف كبير لدىٰ الكون. لماذا؟ لأنها كثيرة جدا! وقد رأينا بالفعل أن النيوترينوات تتشكل في جميع التفاعلات النووية التي تحدث في جميع النجوم التي بالكون، غير أنها تنبعث أيضا خلال الاضمحلالات النشطة إشعاعيا. والأهم من ذلك، أن النيوترينوات كانت قد أنتجت بوفرة في اللحظات الأولىٰ من الانفجار الكبير.

وحقيقة الأمر أننا لو جمعنا جميع المصادر المتنوعة للنيوترينوات في الكون، لوجدنا أنها في المتوسط تبلغ نحو ٣٤٠ مليون لكل متر مكعب. وهذا يغمر متوسط الكثافة للذرات التي في الكون تماما، والتي تبلغ نحو ذرتي هيدروجين فقط لكل متر مكعب، وهو تقريبا يساوي كثافة الإشعاع المتبقي في إشعاع الخلفية الميكروي.

من المعقول شيئا ما التفكير في هذا الكون الخفي المتواجد في نفس مكان كوننا ولكن لا يكاد يُدرك. بيد أنه ثمة موضع واحد تكشف فيه النيوترينوات عن وجودها، ألا وهو جاذبيتها.

ففي بداية الكون، قبل ميلاد النجوم الأولىٰ، كان يوجد بحر من الإشعاع والمادة والنيوترينوات. وقد كانت الجاذبية تضع بذور المجرات، فقد كانت المادة المظلمة المنهارة تجذب الغاز الذي اتخذ في النهاية شكل النجوم والكواكب. وفي كوننا، تؤدي النيوترينوات التي هي شبه عديمة الكتلة دورا صغيرا جدا. حيث إن الغالبية العظمىٰ لطاقتها في صورة طاقة حركية، ولذا فهي تتحرك بالأساس بسرعة الضوء. فهي تسري بسرعة بعيدا عن أي تكتل للمادة، رافضة الارتباط وزيادة جذبها.

ولكن كما الحال بالنسبة للجسيمات الأولية الأخرىٰ، ليس لدينا أدنىٰ فكرة عن السبب في أن النيوترينوات لديها تلك الكتل، أو السبب في أن كتلها صغيرة جدا مقارنة بنظائرها من الجسيمات الأساسية. ومع وجود الجسيمات الأخرىٰ، جد نتساءل: كيف سيختلف الكون عما هو عليه لو كان للنيوترينوات كتلة مختلفة؟

في الواقع، بحث الكوزمولوجيون هذا السؤال بتفصيل شديد. فمن خلال فهم كيفية تأثير كتلة النيوترينو في كيفية نمو الكون، يمكننا استخدام ما رصدناه عن بنية الكون لقياس كتل النيوترينوات! (وهذا توضيح عظيم للاستمرارية بين الضبط الدقيق بوجه خاص والفيزياء النظرية بوجه عام.) ومن المذهل أن تلك قياسات كتلة النيوترينو تلك هي بعض أفضل القياسات المتاحة: فمجموع كتل أنواع النيوترينوات الثلاثة أقل من واحد في المليون من كتلة الإلكترون.

وقد سخر ماكس تيجمارك، وألكزاندر فيلنكين، وليفون بوغوسيان (٢٠٠٥) تلك الفيزياء الهائلة في حساب تأثير نيوترينوات أضخم في تشكل المجرات. فلو كانت النيوترينوات أثقل بشكل ملحوظ؛ لتسبب ثقلها في بطئها، ولعانت صعوبة بالغة في التدفق إلىٰ خارج المجرات المتشكلة حديثا. وبينما تحوم النيوترينوات، ستضاف كتلتهم إلىٰ كتلة المجرة الناشئة، ومن ثم تساعد في نموها.

ولكن ماذا عن زيادة أصغر في كتلة النيوترينو؟ ستظل تلك النيوترينوات رشيقة بما يكفي لتدفقها خارج أماكن ميلاد المجرات وتملأ الكون. قد تظن أن

هذه نهاية القصة، حيث يمتلك الكون بحرا من النيوترينوات الأثقل قليلا. بيد أن تلك الكتلة الزائدة المنتشرة عبر الفضاء لديها أثر تراكمي. حيث تنمو المجرات من خلال تراكم الكتلة عبر مرور الوقت، تعتمد سرعة تراكم الكتلة تباين الكثافة المحلية في موقع المجرة الناشئة عن كثافة خلفية الكون المحيط. حيث تقلل الكتلة الزائدة المنتشرة في شكل نيوترينوات أثقل ذلك التباين بشكل ملحوظ، مقللة بذلك معدل نمو المجرات. حينئذ تكون المحصلة النهائية هي أن زيادة كتلة النيوترينوات زيادة قليلة تثبط انهيار المادة إلىٰ مجرات، ومن دون هذه المادة المنهارة، ليس لدينا مصادر الطاقة لإنتاج الحياة والنجوم والكواكب التي يمكن للحياة أن تنشأ عليها وتتطور.

ولكن كم يبلغ حجم التغيير الذي بوسعنا فعله؟ حسنا، ليس كثيرا. فكما رأينا، تبلغ كتلة النيوترينوات نحو واحد في المليون من كتلة الإلكترون، وهو الجسيم الأثقل منه مباشرة. حيث أظهر تيجمارك ومعاونوه أن زيادة كتلة النيوترينو حتىٰ بمعامل يبلغ الضعف سيكون لديه تأثير مدمر في تشكل المجرة؛ فهو سيكبحها تماما ويدع الكون محض حساء سلس من المادة عديمة الشكل.

ومن ثم، فلكي تنشأ الحياة علىٰ أسطح الكواكب التي تدور حول النجوم داخل المجرات، يحتاج الكون نيوترينو عديم الكتلة تقريبا. ولا تزال معرفة سبب كون ذلك لزاما علىٰ الطبيعة لغزا غامضا.

الكوزمولوجيا (علم الكون) والغموض

في الوقت الحالي، يظل الضبط الدقيق للكوزمولوجيا قائما. ولكن الكوزمولوجيا لا تتوقف عن حد الألغاز الغامضة. فقد سمحت لنا قوانين الفيزياء بالبحث والاستنباط والافتراض حول تاريخ الكون منذ نحو $١٠^{-٣٥}$ ثانية عقب ميلاده الظاهري وحتىٰ يومنا هذا، أي بعد نحو ١٣.٨ مليار سنة. وهذا أمر عادي إلىٰ حد ما!

وفي معرض بحثنا عن تفسير أعمق للضبط الدقيق، نحتاج إلىٰ الرجوع للخلف أكثر من ذلك، إلىٰ البداية نفسها. ولكن هنا -عند نحو $١٠^{-٤٣}$ ثانية- تنفد افتراضاتنا حتما. وتنهار أفضل نظرياتنا للجاذبية -وهي نظرية أينشتاين العامة للنسبية. وفي النهاية، حينما كان الزمن = صفرا، حيث وقع خلق الكون، نفرض أمرا رياضيا سخيفا يُدعىٰ «منفردة singularity». وإذا سألنا نظرية أينشتاين عن كثافة الكون ودرجة حرارته عند ميلاده، لكانت الإجابة «لا نهائية».

وفي كثير من العلم الشعبوي popular science، غالبا ما يتم تقديم المنفردات علىٰ أنها جسم ما غامض وغريب، ولكن في الفيزياء، يعد ظهور الأشياء اللانهائية راية حمراء؛ تحذرنا من افتراضنا لشيء غير واقعي. فقد تجاوزنا حدود معادلتنا.

ومن المهم تذكر أن المنفردة ليست جسما، لا سيما أنها ليست جسما سحريا؛ فهي ببساطة عبارة عن خطأ ناتج عن الإفراط في التقدم بمعادلاتنا. شأنه

شأن الأخطاء التي نرتكبها في حياتنا اليومية، مثل سكب اللبن أو الاصطدام بسيارة؛ فلا ينبغي الحديث عن المنفردات بنبرات توقيرية هادئة، وإنما ينبغي فحصها لتحديد منشأ الخلل فيها.

ومع ذلك، فإن وجود المنفردة عن بداية الكون أمر يصعب تغييره جدا. حيث تبدأ جميع نظرياتنا الرياضية الأبسط -رغم كونها الأكثر نجاحا- حول الكون بمنفردة، ورغم محاولة إضافة المزيد من التكتلات والتعرجات الواقعية، ولكن دون جدوىٰ. في الواقع، في أواخر ستينات القرن العشرين، أظهر ستيفين هوكينج ورودجر بينروز أنه لدىٰ جميع أنواع الأكوان المعقولة، لا يمكن تفادي وجود منفردة عند بدايتها.

وقد استمر علماء الكونيات في تأمل بداية الكون، مكتشفين بذلك تلميحات متعارضة ومحيِّرة، بما في ذلك الأكوان المتذبذبة، وقد حذفت المنفردة بفعل الضباب الكمومي. فهاهنا إذن حدود علم الكونيات، وحصنها الحصين. ولا شك في أن التقدم سيكون بطيئا ومؤلما. إلا أن بحثنا عن الإجابات قد جعلنا نحدق فيما يبدو كبداية، غير أنها بعيدة المنال. فليس بوسعنا سوىٰ التقدم.

أفكار نهائية عن التضخم

ما مدىٰ غرابة التسطح؟

لا يمكننا أن نتجاوز التضخم من دون ذكر إحدىٰ خواصه المميزة. وهي تتعلق بإشكالية التسطح: لماذا لا يزال كوننا بعد بضع مليارات سنة من التطور بعيدا عن الكثافة الحرجة الباعثة علىٰ التسطح، لا يزال قريبا منها؟ فقد كان لدىٰ الكون في مرحلته الأولية نطاق واسع من الكثافات التي بوسعه الاختيار من بينها، فلماذا اختار تلك الكثافة المميزة؟

وإحدىٰ الإشكاليات هي أن جميع الأكوان التي يسودها المادة والإشعاع في مراحلها الأولىٰ تكون في بدايتها شبه مسطحه. وإنما يكون الاختلاف الوحيد في مقدار المدة التي تستغرقها تلك الأكوان التي ليست مسطحة تماما لكي تتحول تماما عن التسطح. بيد أن كوننا لا تبدو عليه علامات كهذه بعد مضي ١٣.٨ مليار سنة. فهل علينا أن نعتقد أن هذه فترة طويلة أم قصيرة؟ ففي حين أنها طويلة بوضوح وفقا للمعايير الزمنية للبشر، إلا أن علم الكونيات التقليدي لا يتقدم لنا زمنا معياريا نقيس عليه. ومن ثم فإن إجابة سؤالنا هي: «هل هي فترة طويلة أم قصيرة بالقياس إلىٰ ماذا؟»

ومع ذلك، فقد حصلنا علىٰ زمن معياري من خلال الجاذبية الكمومية quantum gravity. قد نتوقع أن تكون الظروف الأولية التقليدية للكوزمولوجيا مضبوطة عند زمن بلانك -الذي هو $١٠^{-٤٣}$ ثانية- حينما افترقت الجاذبية

وميكانيكا الكم. ولذا فليس حقيقيا أن جميع الأكوان تبدأ مسطحة؛ لأنه (بالرجوع بالزمن) بعضها لا يصل إلىٰ التسطح عند زمن بلانك. وفي هذه الحالة، تصبح إشكالية التسطح بمثابة طرح سؤال: لماذا عمر كوننا أطول بكثير من زمن بلانك؟

غير أن الخاصية الثانية هي الترصد. فمهما انتقينا من أوقات، يقابلنا نطاق من الكثافات. فهل جميع تلك الكثافة متاحة فعليًا كما نظن؟ لأننا علماء بحق؛ نود أن نذكر مدىٰ احتمالية كون ما، وذلك في ضوء نظرياتنا. فبالنظر إلىٰ هذا النطاق الضيق، قد نخمن أن احتمالية كون أشبه ما يكون بالمسطح (من دون تضخم) ضئيلة جدا.

ومع ذلك، ثمة طريقة أدق لحساب ذلك. فهذا أمر تقني بعض الشيء، وليس من السهل حسابه، فهو يعطي نتيجة مدهشة. وإن قياس الأكوان المسطحة تماما هو مائة بالمئة. والاحتمالية هي إحدىٰ أنواع القياس، إلا أن القياس ليس بالضرورة عبارة عن احتمالية. حيث يمكنك قياس مساحة نقطة الهدف بالنسبة إلىٰ رقعة التصويب بأكملها، بيد أن هذا لا يصير احتمالية إلا إذا بدأت رمي السهام. إلا أن هذه النتيجة التي سبق إليها ستيفين هوكينج ودون بيدج Don Page توحي بأن الأكوان المسطحة غير مدهشة البتة[1] في الواقع إن الأكوان غير المسطحة هي المستغربة.

وهذه نتيجة غريبة، ويصعب تفسيرها بمعزل عن سيناريو خاص ببداية الكون. ماذا يعني هذا القياس؟ لو كان احتمالية، فهو احتمالية لماذا؟ هل توجد عينة إحصائية للأكوان؟ هل هو ببساطة خلاصة ما يمكننا توقع حقيقته؟

علىٰ أي حال، لدينا سبب -بعيدا عن التضخم- للنظر في إشكالية التسطح بشيء من الريبة. فإن كثافة الطاقة الكلية للكون التي تحتاج إليها الحياة قد لا تكون مضبوطة بدقة بنفس الدرجة التي توحي بها الوهلة الأولىٰ. وهذا لا يؤثر في الإشكاليات الأخرىٰ التي يقدم التضخم حلا لها، كإشكالية الأفق.

---

(١) هوكينج وبيدج (١٩٨٨). انظر أيضا إيفرارد وكوزل (١٩٩٥)، وجيبونز وتوروك (٢٠٠٨)، وكارول وتام (٢٠١٠).

الهدف التضخمي

هل التضخم يعرض الطريق نحو الأمام؟ وهل يمكن حل حالات الضبط الدقيق الأخرىٰ بنفس الطريقة؟

علىٰ الأرجح لا؛ لأن التضخم لديه هدف.

فكر في تعبئة الطاقة في كون حديث السن. اختر زمنا معينا، وحدد جميع كثافات الطاقة الممكنة -الطاقة التي ستضغطها لكل متر مكعب- علىٰ خط أعداد. بحيث يكون علىٰ الشمال -عند الصفر- كون فارغ تماما. وعند اليمين، توجد كثافة بلانك، ولكي نعرف ما يحدث بعد ذلك في جهة اليمين؛ سنحتاج إلىٰ نظرية جاذبية كمومية. وهنا يكمن الخطر.

والآن، هل تعتبر معادلات أينشتاين أي نقطة علىٰ هذا الخط فريدة؟ نعم؛ بالنظر إلىٰ معدل ما من التوسع، ثمة كثافة واحدة تفصل الأكوان المنحنية في اتجاه السالب عن الأخرىٰ المنحنية في اتجاه الموجب، بينما الأكوان المسطحة علىٰ الحياد تماما. وهذه هي الكثافة الحرجة.

والآن، ما الكثافة التي تحتاجها الحياة؟ إن نطاق القيم التي تسمح بتشكل البنية الكونية -من مجرات ونجوم وكواكب وأناس- مرتكز علىٰ الحياد تماما.

وهكذا كان بمقدور التضخم (والقياس الوارد في القسم السابق) حل إشكالية الضبط الدقيق. وهي أن لديهم هدف. هدف التسطح، وعندئذ تجد الحياة ملقاة بالمجان.

بيد أن هذا هو عين ما تفتقر إليه حالات الضبط الدقيق الأخرىٰ. فإذا رسمت خط الأعداد لكتل الكواركات وكتلة الإلكترون و(Q) وشدة كل قوة، لن تجد في أي منها هدفا، أي قيمة محددة تنتظر بداخل المنطقة التي تسمح بالحياة. فما من شيء يستهدف بها؛ لأن الفيزياء عمياء عما تحتاجه الحياة. ومع ذلك، فنحن هنا.

٦- كل الرهانات معطلة

مذ بدأنا الحديث عن تغير قوانين الطبيعة وحتىٰ الآن، ظللنا بأمان داخل حدود نظريات فيزيائية مألوفة. وقد عبثنا بمكونات القوانين، بما في ذلك: المادة، وشدة القوىٰ، والحالة الأولية للكون. بيد أننا لم نمس القوانين. ومع ذلك، فكما هو الأمر بالنسبة لثوابت الطبيعة، نحن لا ندري سبب وجود قوانين الطبيعة علىٰ ما هي عليه. فلنغيِّر إذن كل شيء كل الرهانات معطلة!

قد تظن أننا ناقشنا بالفعل بعض السيناريوهات الغريبة في معرض حديثنا، ولكن عندئذ تبدوا الأمور شديدة الغرابة. حيث سنبدأ علىٰ نحو سلس، مستعرضين الفرق في كوننا بين الفيزياء الكلاسيكية المألوفة وغرابة ميكانيكا الكم. وبعد ذلك سنتعمق أكثر ونستعرض دور التناظر في تحديد خصائص الكون. وهذا يقودنا إلىٰ استبدال نسيج الكون نفسه: الزمكان. فهل توجد فرصة لنشأة الحياة في أي من تلك الساحات غير المألوفة.

وقبل أن نتعمق، هاك رسالة في التعقل. فقد أبرزنا حتىٰ الآن أننا لا نعرف شيئا البتة عن سبب وجود الأشياء بالكيفية التي هي عليها. وفي نهاية ما توصل إليه العلم، تطفوا نظريات جنونية لا حصر لها وبلا قيود، من دون أن تعوقها الأدلة التجريبية. وقد تبدوا تلك الفوضىٰ بالنسبة للعامي بلا غاية، وقد يصعب عليه تمييز ما له مغزىٰ مما هو خيال محض (سمينها من غثها).

إلا أن الفيزيائي يحب قليلا من الفوضىٰ. فإذا كانت الفوضىٰ في قالب نظري -حينما تكون لدينا أفكار مفرطة وأدلة قاصرة- فعندئذ يمكن لتجربة حاسمة أن تقطع مساحة شاسعة عبر نظرياتنا، وتزيح الركام، وتعمق فهمنا لطرق الطبيعة. أما إذا كانت الفوضىٰ -علىٰ الجانب- الآخر تجريبية؛ حيث إن لدينا الكثير جدا من الأشياء المرصودة التي لم تفسر، فعندئذ لا بد للمتخصصين في الفيزياء النظرية من التفكير بعمق وإبداع، ويستعدوا لطرح أفكار جديدة تتسم بالجرأة.

إن تاريخ العلم عبارة عن قصة وضوح ينبع تدريجيا من داخل اللبس؛ فمنذ الثورة التي أحدثها كوبرنيكوس Copernican -بشأن دوران الأرض حول الشمس!- إلىٰ ميكانيكا الكم في مطلع القرن العشرين، وحتىٰ اكتشاف الدنا (DNA) في خمسينات القرن العشرين، تقود الفوضىٰ إلىٰ البصيرة. فإن اللبس الذي يحوم حول علم الكونيات -حيث لا نعرف ماهية ٩٥ بالمائة من الكون- يعني أن الوقت قد حان لحدوث نقلة نوعية. ولذا لن نعتذر عن خوضنا فيما لا نعلم. بل سنحتفي بذلك! وعليك أن تحتفي أيضا بذلك![١]

علىٰ شواطئ المحيط الكمومي

منذ نشأة العلم الحديث، ومن خلال أعين جاليليو Galileo ونيوتن Newton، كان تركيز العلم منصبا علىٰ التجارب اليومية. ورغم أن الفيزياء لم تكن سهلة رياضيا -كما يتبين من خلال إلقاء نظرة علىٰ كتاب في الميكانيكا الكلاسيكية- إلا أنها احتفظت بصلة مباشرة جدا بالعالم الذي نعيشه. حيث أوضح نيوتن كيفية سقوط التفاح، وكيفية تحرك الكواكب، وسبب رؤية قوس قزح في أيام المطر. وبعد ذلك بمئتي عام، وحدت قوانين جيمز كلارك ماكسويل

---

(١) بينما عليك الاحتفاء بالفوضىٰ المحيطة بآخر ما توصل إليه العلم، إلا أنه ينبغي دائما أن تتلقىٰ الاخبار الاعلامية بارتياب كبير. فنحن ندعم الاعلام بنشاط التي تتناول أكبر قدر ممكن من العلم، ونحلم باليوم الذي تذيع فيه الانباء التقارير العلمية قبل التقارير الرياضية وأنباء الطقس. ومع ذلك، فإن فشل الانجازات هو أحد الاخطار المهنية التي تحيط بأي قارئ للصحافة العلمية؛ ففي كل يوم، تعلن إحدىٰ التصريحات الاخبارية عن فكرة ستغير طريقة رؤيتنا للكون، بيد أنهم لا يوفون بوعودهم أبدا.

James Clerk Maxwell كلا من الكهرباء والمغناطيسية، وكشفت عن حقيقة الضوء. كما كشف علم الديناميكا الحرارية thermodynamics غموض الحرارة ودرجاتها وكذلك الضغط.

وقد قيل لماكس بلانك Max Planck وهو شاب عام ١٨٧٤: لقد اكتُشف كل شيء تقريبا.» حيث كان ماكس -الذي أصبح بعد ذلك أحد أعظم علماء القرن العشرين- قد رحل إلىٰ ميونيخ Munich لشغل وظيفة في مجال الفيزياء، وما لبث أن طلب إليه البروفيسور فيليب فون جولي Philipp von Jolly دراسة شيء آخر؛ فلقد كانت «الفيزياء النظرية تقترب من درجة اكتمال قد حصلت عليها الهندسة من مئات السنين»[١] بيد أن الفيزيائيين الأخرين قد لاحظوا ظهور بعض الثغرات.

وقد شغلت الذرات عقول الفيزيائيين، لا سيما كيفية ترتيبها الداخلي. حيث مثلت الصورة الظاهرة نظاما شمسيا مصغرا (الشكل ٨)، ذا نواة في مركزه وإلكترونات تدور مثل الكواكب. ولكن كان ثمة إشكالية، إشكالية كبيرة! حيث إن الإلكترونات محمولة في مداراتها بفعل جاذبية القوة الكهربية المتجهة نحو نواة الذرة، وهي الطريقة نفسها التي تجذب بها الشمس الكواكب. ولكن علىٰ عكس قوة الجاذبية، كان من المفترض أن تفقد الإلكترونات الدائرة طاقتها من خلال انبعاث إشعاع، وتصطدم بالنواة في لمح البصر. ثمة خلل ما في صورة الذرة المستوحاة من النظام الشمسي؛ فهي عاجزة عن تفسير سبب استقرار الذرات!

بيد أن إشكالية الذرات غير المستقرة لم تكن هي الصعوبة الوحيدة بالنسبة للفيزياء الكلاسيكية. فلم يكن ثَمَّ شيء في كتب فيزياء القرن التاسع عشر بوسعه تفسير الضوء الصادر عن تسخين الحديد في محل حدادة، ولا الإلكترونات الملفوظة عند تسليط الضوء علىٰ قطعة معدن كالبوتاسيوم.

وبعد قرون عديدة من التجارب المحيرة، والبدايات الخاطئة والنهايات المستغلقة والأفكار المجنونة، والمسائل الرياضية العنيفة وغير المعتادة، ولحظات

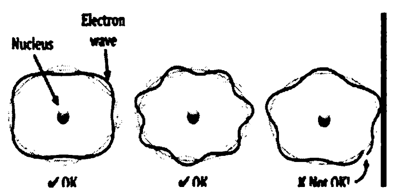
---

(١) مقتبس من (Weinert (2004, p. 193)).

قليلة من العبقرية الحقيقية، اتضح أن قواعد العالم الميكروسكوبي ليست مثل قواعد الأجسام العادية. حيث يسير العالم الميكروسكوبي وفقا لقواعد ميكانيكا الكم.

بيد أن إيضاح خواص العالم الكمومي علىٰ نحو مناسب يستغرق كتابا آخر (وأكثر)، ولكن بوسعنا تلخيص الأمور المهمة. ففي الفيزياء الكلاسيكية، تُمثَّل الجسيمات عند أي زمن وفقا لمكانها وسرعتها؛ أي موضع وجودها وموضع وصولها. أما في فيزياء الكم، يزداد الأمر تعقيدا بعض الشيء. حيث تمتلك الْجسيمات مثل الإلكترون خصائص شبه موجية؛ ولذا نصفهم بدالة موجية تحدد قممها وقيعانها المكان الذي يترجح وجود الإلكترون فيه، والموضع الذي يترجح انتقاله إليه.

فحينما يدور الإلكترون حول نواة الذرة، لا يمكنه ببساطة التجول حيث شاء. ففي ميكانيكا الكم، يُعدُّ الإلكترون موجب، ولا بد من أن يندرج في مداره بإحكام. حيث يُظهر الشكل ٣٢ موجات إلكترونية حول نواة: فعلىٰ الجانب الأيمن، يوجد مدار غير مسموح؛ حيث إن نهايتي الموجب لا تلتقيان. بينما تلتقي الموجات الأخرىٰ بدقة، وتُظهر وجود أكثر من طريقة لدوران الإلكترون. كما أن طاقة الإلكترون -شأنها شأن طاقة الفوتون- في مداره تعتمد علىٰ طول موجته؛ فكلما كانت الموجة شديدة التكدس، كانت طاقتها أعلىٰ. ونظرا لأنه ليس جميع الموجات مسموحا بها؛ فإن طاقة الإلكترون تُكمَّم، أي أنه ليس بوسعها سوىٰ اتخاذ قيم مميزة.



شكل ٣٢: لا بد للإلكترون الدائر حول النواة من وضع موجته في المدار المناسب. حيث يُسمح بموجات معينة (وطاقاتها المرتبطة) كما في الشكلين الذي علىٰ اليسار وفي المنتصف، بينما تُمنع أخرىٰ كما في المدار الذي علىٰ اليمين.

لماذا نفترض بأن الإلكترونات لديها تلك الخصائص الغريبة التي تشبه خصائص الموجات؟ لأنه بوسعنا فهم سبب استقرار الذرات! ثمة مدار هو الأعمق؛ بحيث يكون قريبا بما يكفي للانسجام مع إحدىٰ موجاته، فهو أقرب ما يكون[١] ولا يمكن للإلكترون أن يهبط من هذه الحالة القاعية نحو النواة؛ لعدم وجود مدار يُسمَح له بالانتقال إليه.

وعلىٰ هذا، فبينما يُشاع عن عالم الكوانتم أنه متقلب وغير متوقع، إلا أنه في الحقيقة هو أساس استقرار جميع ما تراه حولك من مادة.

ورغم غرابة هذا الأمر، إلا أن الفيزيائيين قد تقبلوا كون هذه هي آلية عالم الأنشطة الصغيرة جدا. حيث تستند بعض الاختراعات التكنولوجية العظيمة في العالم الحديث علىٰ أساس توقعات ميكانيكا الكم البالغة الدقة، بدءًا من الدوائر المتكاملة للحاسوب، ومرورا بالليزر وحتىٰ التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)[٢]

ولكن أين هذه الطبيعة الموجية الكمومية في الحياة اليومية؟ لماذا تؤثر في الذرات دون كرات التنس؟ حيث يستعمل الفيزيائيون مجموعتين من المعادلات: إحداهما تُستَخدم في حالة تحليق إلكترون عبر غرفة ما، والأخرىٰ في حالة تحليق كرة التنس عبر الغرفة نفسها. فكيف ينسجمان؟ ومتىٰ وأين وكيف تتمكن الأشياء الكمومية من اتخاذ مظهر الأخرىٰ الكلاسيكية؟ أين يحدث التحول الكمومي الكلاسيكي؟

---

(١) ثمة نسخة أعقد قليلا لهذه الحجة. تضع طبيعة موجة الالكترون حدًّا لمدىٰ حصر موضعه وزخمه. وهذا هو «مبدأ الريبة» (uncertainty) الشهير لهايزنبرج. حيث يكون موضع الالكترون الدائر حلزونيا حول النواة محل شك متناقص، وبالتالي يكون زخمه محل شك متزايد. وفي لحظة ما، يكون الالكترون قريبا جدا، ولذا يتحرك بسرعة تفوق سيطرة القوة الكهرومغناطيسية. وتحدد المنافسة بين الجذب المسيطر للقوة الكهرومغناطيسية والمقاومة الكمومية لتلك السيطرة حجم الذرة.

(٢) ولسوء الحظ، تم السطو علىٰ كلمة «كوانتم» وجعلها ترادف السحر، وتم استغلالها في تفسير جميع أنواع «الظواهر» بدء من التخاطر وحتىٰ الاشباح. فإن وضع كلمة «كوانتم» علىٰ منتج صحي لن يحوِّل زيت الثعبان إلىٰ ترياق.

تبدو الإجابة مرتبطة بقيمة أحد ثوابت الطبيعة الأخرىٰ، وهو ثابت بلانك. حيث يظهر هذا الرقم -من خلال رمزه (h)- في جميع المعادلات الأساسية لدىٰ ميكانيكا الكم. فهو موجود عندما تريد حساب مقدار انحراف الجسيمات عند عبورها شقوقا ضيقة، وحجم مدارات الإلكترونات التي حول النواة، وبنية الأنوية الذرية، وانبعاث الضوء من ذرة الهيدروجين.

وتبلغ قيمة ثابت بلانك في كوننا ٦.٦٢٦٠٦٩٥٧ × $١٠^{-٢٣}$ كجم $م^{٣}$ $ث^{-٢}$ وهذا الرقم -المحسوب بوحدات القياس البشرية من الكيلوجرام والمتر والثانية- صغير جدا. كما يتناسب حجم الذرة وثابت بلانك، وهذا يعني أن حجمها لا بد أن يكون صغيرا؛ حيث يوجد نحو $١٠^{٢٤}$ جزيء في كوب الماء. كما يوحي هذا الرقم أيضا أن طاقة الفوتون المفرد ضئيلة جدا؛ حيث يصدر المصباح الضوئي القياسي نحو $١٠^{٢٠}$ فوتون في الثانية. ونظرا لأن البشر أكبر بكثير من أن يروا هذا المستوىٰ التفصيلي الدقيق؛ يُعدُّ كلا من الماء والضوء متصلًا continuous -أي غير مكمم- فعليا.

فهل يمكننا القول ببساطة إن الأشياء الكبيرة تخضع للميكانيكا الكلاسيكية والأشياء الصغيرة تخضع لميكانيكا الكوانتم؟ وهل بوسعنا تجنب الغرابة الكمومية في الحياة اليومية عن طريق نفيها إلىٰ داخل الذرات؟ ليس الأمر كذلك تماما؛ وفقا لما تظهر تجربة شهيرة -وسيئة السمعة- أجراها إرفين شرودينجر Erwin Schrödinger.

فقد بحث شرودينجر عام ١٩٣٥- «الحيلة الشيطانية» الآتية. حيث تُحبس قطة في صندوق به قنينة سم وذرة مشعة. وفي الساعة التالية، تكون احتمالية خضوع الذرة لاضمحلال إشعاعي هي ٥٠ بالمئة؛ مما يستحث كاشفا يقوم بدوره بتحطيم القنينة وقتل القطة. ويكون الصندوق محكم الإغلاق، بحيث لا ندري أتحطمت القنينة أم لا، ومن ثم لا ندري أكانت القطة حية أم ميتة. وإنما ننتظر لمدة ساعة.

والآن، قبل أن نفتح الصندوق، ماذا علينا أن نقول بشأن القطة؟ كثيرا ما تُعرَض قطة شرودينجر للعامة علىٰ أنها معضلة فلسفية. حيث يُقال للشخص العادي الذي هو في حيرة متزايدة «إن القطة حية وميتة، وفقا للفيزياء الحديثة». والآن سنحك أذقاننا ونتمعن، في محاولة لإقناع أنفسنا بأن هذا أمر ذو مغزىٰ بشكل أو بآخر.

ومع ذلك، ليس هذا مفاد التجربة الفكرية. فبحسب التعبير الرياضي لميكانيكا الكوانتم، إن إجابة سؤال «هل اضمحلت الذرة؟» هو «الذرة سليمة + الذرة مضمحلة». فماذا يعني هذا علىٰ أرض الواقع؟

تسمىٰ هذه الحالة «تراكبا superposition» فما لا ينبغي أن نقوله هو أن «الذرة مضمحلة وسليمة intact أي لم تضمحل- في الوقت نفسه». ففي لغة ميكانيكا الكم، ثمة طريقة بالغة الدقة لقول «إن الذرة قد اضمحلت»، وطريقة للقول «إن الذرة سليمة»، وليس التراكب أيا منهما. ولكن إذا اعتقدنا أن الدالة الموجية تمثل المنظومة نفسها؛ فعلينا أن نقول إن الذرة لم تضمحل وليست سليمة[1] وفي المقابل، إذا اعتقدنا أن الدالة الموجية تمثل معرفتنا بالمنظومة؛ فعندئذ نقول إننا لا ندري هل الذرة أضملحت أم لا

ولكن القصة المعتادة تقول: لا تكترث بالتردد -المقصود هنا ليس مصطلح التردد بمعناه الفيزيائي وإنما التردد بمعنىٰ عدم تحديد indecision أمر معين -المترجم- indecision المجهري للذرة. فسوف ينتهي عندما يسجل الكاشف detector اضمحلالها.

ولكن مهلا إن الكاشف عبارة عن منظومة كمومية أيضا. فهو مصنوع من الذرات. وحين نأخذ هذا بعين الاعتبار، تخبرنا ميكانيكا الكم بأن منظومة

---

(١) لسنا بحاجة لإنكار «قانون الثالث المرفوع» ذلك المبدأ المنطقي: ومفاده إما أ أو خلافه صحيح. فإذا كان أ هو «أن الذرة قد اضمحلت»، فإن خلافه هو «الذرة لم تضمحل». وتركيب «اضمحلالها + سلامتها intact» هو آخر الحالتين، أي خلاف أ. ففي ميكانيكا الكوانتم، «عدم اضمحلال الذرة» لا يعني «أنها سليمة». حيث إن تركيب «اضمحلالها + كونها سليمة» أمر مختلف تماما.

«الذرة والكاشف» بأكملها توصف رياضيا بأنها «مضمحلة وكاشف مثار triggered - في فيزياء الجسيمات، يُعرف trigger (مثير) بأنه نظام يستخدم معايير لتحديد الأحداث التي يتم اكتشافها عبر كاشف الجسيمات بسرعة عندما يمكن تسجيل جزء صغير فقط من الإجمالي. وتعد أنظمة trigger ضرورية بسبب قيود العالم الحقيقي في طاقة الحوسبة، وسعة تخزين البيانات ومعدلاتها. نظرًا لأن التجارب تبحث عادة عن الأحداث «المثيرة» -مثل تحلل الجزيئات النادرة- التي تحدث بمعدل منخفض نسبيًا، ويتم استخدام أنظمة trigger لتحديد الأحداث التي يجب تسجيلها لتحليلها لاحقًا -المترجم-.- + سليمة intact والمقصود هنا أن الذرة علىٰ حالتها لم تضمحل بعد -المترجم-- & كاشف غير مثار untriggered». حيث إن الدالة الموجية لم تحدد بعد.

ولكن كلما تفاعلت الذرة والكاشف مع محيطيهما، يرتبط المزيد من الأشياء بتردد indecision الذرة، بما في ذلك القطة. سرعان ما توصف المنظومة بأنها «مضمحلة وكاشف مثار وقطة ميتة + سليمة وكاشف غير مثار وقطة حية». تذكر أن هذا يعني أن الدوال الموجية لجميع الذرات التي في القطة والكاشف مرتبطة بتردد الذرة الأصلية. فيا لها من فوضىٰ!

لاحظ ما حدث جيدا، فهذه قضية شرودينجر، فكثيرا ما تسقط حلقة من نقاش آلة استئصال القطة هذه. لقد بلغ تردد الذرة الآن حجم قطة! وازداد حجم غرابة التراكب الكمومي «لا هنا ولا هناك»؛ ولذا فنحن مرغمون علىٰ القول إن القطة عبارة عن تراكب «الحياة والموت». ولكن -بحسب شرودينجر- فإن هذا «سخيف جدا»، ولم يرصد أبدا! حيث إن مفاد هذه التجربة الفكرية ليس في إلزامنا بالتفكير في كيفية حياة القطة وموتها في آن واحد، وإنما في ملاحظة أننا لا نلاحظ شيئا كهذا البتة. فحين نفتح الصندوق، لا نرىٰ مزيجا من قطة حية وميتة. بل إننا أنفسنا لا نبهت قائلين «أرىٰ قطة حية + أرىٰ قطة ميتة». وإنما نرىٰ إحداهن وحسب. ففي ميكانيكا الكم، تُعرض علينا بدائل متراكبة ومرتبطة. بيد أن العالم الكلاسيكي -الذي نرصده- لا يقدم لنا سوىٰ واقع واحد، ذي بدائل داخلة في حيز الإمكان وحسب، دون أن تكون متراكبة.

ولذا فليس من السهل التفريق بينهما لدرجة القول «إن الأشياء الصغيرة كمومية والكبيرة كلاسيكية». فنحن لم نقترب بعد من إجابة سؤالنا: متىٰ وأين وكيف تتمكن الأشياء الكمومية من الظهور بمظهر الأخرىٰ الكلاسيكية؟

يبدو أن جزء من الإجابة عبارة عن ظاهرة تسمىٰ فكُّ الترابط decoherence[1] تذكر أن كل جسيم يتفاعل مع منظومة «الذرة + الكاشف + القطة» يصير مرتبطا بتردد الذرة. وذلك لأن الذرة عاجزة عن تقرير ما تقوم به، وكذلك كل ما يتفاعل معها. (من المؤكد أن هذه لغة استعارة؛ فالذرات لا تتخذ قرارات) ومع ذلك، ليس من الممكن أن نقتفي أثر كل جسيم في تجربتنا. حيث يمكن لجسيم أن يرتد عن الكاشف، خارجا من النافذة نحو الفضاء. فمن الناحية العملية، نحن نقتفي أثر منظومة فرعية.

فمن هنا يأتي فك الترابط. حيث إن كل الغرابة والطبيعة الموجية الكمومية لا تظهر سوىٰ عندما يمكننا اقتفاء أثر المنظومة المرتبطة بأكملها. وهذا يسهل تنفيذه كثيرا إذا كانت المنظومة صغيرة. ولكن إذا تفاعلت المنظومة مع بيئتها -تلك البيئة الكبيرة الفوضوية التي لا يمكن اقتفاء أثرها- عندئذ تزول الغرابة الكمومية. وتتسرب إلىٰ محيطها. ومن المدهش أن يعمل الباقي كمنظومة كلاسيكية!

وبمزيد من الدقة، فإن سبب عدم رؤيتنا للغرابة الكمومية في المنظومات الكبيرة هو أن أجهزة قياسنا (كالكاشف والقطة وعينك حين تفتح الصندوق) لا تقتفي أثر جميع الارتباطات الكمومية. حيث تُدفع المنظومات الفرعية الكمومية -من قبل تفاعلها باستمرار في اتجاه واحد مع بيئتها- إلىٰ تلك الحالات الخاصة التي تعمل كلاسيكيا. ولذا فإن فك الترابط يدمر التراكب[2]

---

(١) لاحظ أننا سنتناول تحليل الانتقال من الميكانيكا الكلاسيكية إلىٰ ميكانيكا الكوانتم بشيء من العجلة والاريحية.

(٢) لمزيد من التفاصيل التقنية عن فك الترابط، انظر (Zurek 2002) و(Dass 2005).

حسنا، تقريبا، لا نزال بحاجة إلىٰ تفسير سبب رصد حالة واحدة فقط من الحالات الكلاسيكية الممكنة. يتمثل جزء من الإجابة في فك الترابط، ولكن لا تزال ميكانيكا الكم تفتقر إلىٰ شيء ما. وليس بوسعنا مناقشة جميع الخيارات هنا؛ وإنما يمكننا تبيين أنهم جميعا يتسمون بالغرابة.

إن فهمنا المتزايد لفك الارتباط يعني أن العلماء قد تعلموا كيفية تضخيم الغرابة الكمومية من دون تدميرها. فقد تمكنا من صنع جزيئات كبيرة ذات ٨٠٠ ذرة مفردة- ورصدها في حالات متراكبة. حيث يقترب حجم تلك الجزيئات من حجم أصغر أشكال الحياة. وقريبا قد تتعرض الأميبا أو الدودة أو ربما حتىٰ الفأرة إلىٰ الغرابة الكمومية.

ولكن علينا العودة إلىٰ الضبط الدقيق fine-tuning. كيف سيختلف الكون عما هو عليه لو عبثنا بثابت بلانك، وغيرنا المستوىٰ الذي تبدو ميكانيكا الكم مهمة عنده؟ تخيل لو أننا ضبطنا ثابت بلانك عند صفر. فسوف نلغي تأثير ميكانيكا الكم فعليا، وسوف يسير العالم وفقا لقوانين نيوتن وماكسويل الكلاسيكية المحضة. وكما أسلفنا، فإن الذرات في هذا الكون الكلاسيكي تكون غير مستقرة لأن الإلكترونات تفقد الطاقة وتهوي إلىٰ النواة. وفي كون ليس به ميكانيكا الكم -بحيث تكون $(h = 0)$- لن يكون ثمة ذرات ولا كيمياء، وبالتالي لن توجد جزيئات ولا بشر.

ولنفترض -بدلا من ذلك- أننا غيرنا ثابت بلانك لزيادة المعيار الذي يجلي غرابة الكوانتم، إلىٰ أن يؤثر التراكب في الأجسام الكبيرة التي تُرىٰ بالعين[١] ماذا لو كان فك الترابط بطيئا جدا لدرجة أن معظم الأجسام قضت معظم وقتها في التراكبات الكمومية؟

---

(١) تذكر أن (h) لديها وحدات، ووحداتنا (الثانية والمتر والكيلوجرام) مرتبطة بفيزياء الكوانتم. فعلىٰ سبيل المثال، تعرف الثانية باستخدام تذبذب ذرة سيزيوم، والتي تعتمد بدورها علىٰ خواصها الكمومية، ومن ثم تعتمد علىٰ (h). فلكي نخصص كونا مختلفا كما ينبغي ذا قيمة مختلفة لثابت بلانك، ينبغي أن نوضح أي الكميات ستختلف وأيها سيظل كما هو. وهنا سنبحث ببساطة النتائج العامة لاثار كمومية بحجم الحياة.

لسنا أول من بحث هذا التساؤل. ففي سلسلة كتب علمية شهيرة للفيزيائي الروسي جورج جامو، يصادف السيد تومكينز Tompkins -بطل الرواية- كرات علىٰ طاولة بلياردو تتصرف بغرابة، حيث تنتشر نحو الخارج وهي تدور إلىٰ أن «بدت كما لو لم تكون كرة واحدة تتدحرج عبر الطاولة، وإنما عدد كبير من الكرات جميعها يتجه جزئيا نحو الآخر. وقد سبق وأن لاحظ السيد تومكينز كثيرا من الظواهر المشابهة، ولكنه لم يحتسِ اليوم قطرة ويسكي[1] فكرات البلياردو تتصرف مثل «موجة غريبة» بعد اصطدام وتنطلق إلىٰ خارج المثلث الخشبي. وبعد توغل تومكينز في أدغال الكوانتم، تعرض للهجوم من جميع الاتجاهات من قبل نمر كمومي! فكيف نفهم هذا العالم الكمومي الغريب؟

ففي العالم الكلاسيكي، تكون الفيزياء حتمية؛ أي أننا إذا عرفنا بدقة كيفية الكون الآن -بحيث نعرف مكان جميع الذرات وإلىٰ أين تذهب- يمكننا استخدام قوانين الفيزياء في استنباط ما سيصير إليه الكون.

إلا أن عالم الكوانتم مختلف تماما. حيث إن معرفة الحالة الكمومية لإلكترون ما لا ينبئ بالضرورة بموقعه الحالي ولا إلىٰ أين ينتقل (زخمه)، ولا يمكنه قطعا إنباؤنا بكل من موقعه الدقيق وزخمه. ولا يزال لدينا معادلات تسمح لنا بتطوير تلك الخواص من نقطة زمنية إلا أخرىٰ، بيد أن هذا الغموض الكمومي يظل كما هو.

تأمل صورة من صور الحياة التي كان عليها أن تتعامل مع الريبة الكمومية هذه مباشرة. فهي ستشبه قطة شرودينجر «التافهة نوعا ما»، فلن تعلم الموقع الحالي للأشياء أو موضع انتقالها. ومما يزيد الأمر لبسا أن جسمها نفسها قد يكون غامضا كذلك. فكيف لك أن تعمل في كون يمكنك فيه السير والنوم والرقص والغطس أو أيٍّ من ذلك، وكل هذا في آن واحد. وكيف لذهنك أن

---

(1) Gamow (1965, p. 65).

يخزن المعلومات ويعالجها إذا كان يقضي معظم وقته عاجزا عن حسم أمره؟ (إن صح التعبير![1])

كما يُعدُّ اللامحلية (nonlocality) إحدىٰ المشكلات الشائكة جدا لدىٰ كون كمومي. تأمل كرة قد رُكِلَت. فعند دراسة مسار انطلاقها، سواء تم ذلك رياضيا من قبل فيزيائي أو سليقيا من قبل لاعب كرة، فكل ما يعنينا هو دراسة تأثير الأجسام القريبة من الكرة. فنحن ندرس سرعة الرياح في الملعب، ولكن لن ندرس سرعة الرياح علىٰ سطح المحيط الأطلسي. ولكن في عالم كمومي، ليست الأمور منفصلة تماما. فيمكن تعلقها ببعضها، ولذا فمن الناحية النظرية يمكن أن يتأثر انطلاق الكرة بأي شيء آخر في الكون. فبالنسبة إلينا، بالنظر إلىٰ معرفتنا المحدودة بالعالم من حولنا، سيكون التنبؤ بالكرة عندئذ متعذر جدا.

ففي كوننا، لدينا ميكانيكا كمومية حيثما نريدها تماما، بحيث تؤثر في الجانب الأصغر للغاية. فهي تجعل الذرات مستقرة، بيد أن اكتراث القطط بالأجزاء الكمومية التي تتكون منها هو أقل ما يكون[2] ولذا نستطيع الاعتماد علىٰ عالمنا الكلاسيكي القابل للتنبؤ. والحياة -علىٰ وجه الخصوص- من شأنها تخزين المعلومات ومعالجتها، وهذه إحدىٰ خصائصها المميزة.

التناظر الكوني

ثمة تغيرات أخرىٰ أكثر جِذرية يمكننا إحداثها في قوانين الفيزياء. ولذا نحتاج إلىٰ الحديث عن التناظر.

فشأنه شأن الكوانتم، يبدو التناظر مصطلحا يدخل في الحديث عن الديكور المنزلي، كالفينج شوي feng shui والكريستالات. في الواقع، إن التناظرات غاية

---

(١) بالنسبة للقارئ الذي سمع بالحواسيب الكمومية لن تكون ذا فائدة. حيث تنتهي الحسبة الكمومية بـ «قياس». أي أن الحواسيب الكمومية بحاجة إلىٰ فك الترابط (علىٰ الاقل) لانهاء العملية الحسابية. وفي كون يكون فيه فك الترابط بطيء جدا، يصبح تمام العمليات الحسابية الكمومية فيه أمرا شاذا وليس هو القاعدة.

(٢) وكذلك تبدو القطط قليلة الاكتراث أيضا بميكانيكا نيوتن.

في الأهمية بالنسبة للفيزياء الحديثة. فهي عملية وعميقة الأثر، حيث تضفي علىٰ معادلاتنا البساطة والجمال. وبالنسبة للعديد من الفيزيائيين، يعتبر البحث عن قوانين مطلقة (ultimate laws) للفيزياء بمثابة بحث عن التناظر الأعمق[1] ومن المهم أننا نحصل علىٰ قوانين الحفظ من خلال التناظر.

إليك البيان: حيثما يوجد تناظر في بنية الكون، ستجد كمية مصاحبة محفوظة لا تتغير بمرور الزمن. ولفهم ذلك، لننظر في بعض الأمثلة.

ربما لا زلت تذكر من الفيزياء التي درستها في المرحلة الثانوية طائفة من الكميات المحفوظة مثل الطاقة والزخم والشحنة الكهربية. حيث إن الكمية الإجمالية لكل من تلك الأشياء تظل كما هي عبر مرور الزمن؛ فالطاقة علىٰ سبيل المثال لا يمكن استحداثها أو إفناؤها، وإنما تتحول فقط من صورة لأخرىٰ. ولكن ثمة كميات أخرىٰ غير محفوظة. ففي الفيزياء الكلاسيكية، بينما الكمية الإجمالية للطاقة محفوظة، إلا أن الطاقة الحركية وحدها ليست كذلك؛ فالسيارات تحول الوقود إلىٰ حركة، وتتحول طاقة الحركة إلىٰ حرارة عند الضغط علىٰ المكابح. كما أن المجالات المغناطيسية ودرجات الحرارة وتسارع الجاذبية والعديد من الكميات الفيزيائية الأخرىٰ غير محفوظة أيضا. ولذا يحب الفيزيائيون الكميات المحفوظة أكثر؛ نظرا لأنها لا تحتاج إلىٰ حساب سوىٰ لمرة واحدة. فمهما كانت منظومتك في مأزق فوضوي، لن تتغير الكميات المحفوظة.

علينا أن نشكر عالمة الرياضيات الألمعية إيمي نويثر Emmy Noether علىٰ ربطها التناظرات بقوانين الحفظ. فهي بطل مغوار من أبطال العلم الحديث، حيث كانت امرأة ذكية في زمن كان الرجال يسودون الأوساط الأكاديمية تماما. وقد قال عنها أينشتاين في نعيها بصحيفة النيويورك تايمز: «وفقا لشهادة أكفأ علماء الرياضيات الأحياء، كانت الآنسة نويثر أعظم العباقرة الرياضيين المبدعين الذين جاد بهم الزمن منذ بدء التعليم الجامعي للنساء».

---

(١) نوصي بشدة بمطالعة كتاب ستيفين واينبيرج "Dreams of a Final Theory"

إليك مثال بسيط لنظر نويثر الثاقب. تصور قيامك بتجربة فيزيائية في معملك، وحصولك علىٰ نتيجة معينة. حينئذ لن تتوقع حصولك علىٰ نتائج مختلفة إذا نقلت معداتك المعملية كافة مسافة متر في اتجاه اليسار؛ وذلك لافتراضك أن قوانين الفيزياء في تلك البقعة هي نفسها التي هنا. وهذا يبدو أمرا واضحا، بل ومبتذلا، ولكن باستخدام مسلك قوي جدا من مسالك الفيزياء الكلاسيكية يُعرف بميكانيكا لاجرانج، نتوصل إلىٰ أن هذا التناظر المتعدي يفيد بحفظ الزخم.

وبالمثل، فإن أية تجربة فيزيائية تجرىٰ اليوم تعطي النتيجة نفسها لتجربة مطابقة أجريت بالأمس أو ستجرىٰ في الغد. وبفضل نويثر، يفيد تناظر الزمن هذا حفظ الطاقة.

ولكن ثمة خصائص أخرىٰ متعلقة بالأشياء الفيزيائية سوىٰ مكانها وزمانها، وبالتالي يوجد مزيد من التناظرات التي يمكن العثور عليها، رغم أن تصورها لن يكون علىٰ نفس القدر من البساطة. فعلىٰ سبيل المثال، تناظر خفي في الدالة الموجية لميكانيكا الكوانتم ينتج عنه حفظ الشحنة الكهربية.

وكثيرا ما يدهش الرابط بين التناظرات التي في الطبيعة ووجود كميات محفوظة طلاب الفيزياء. ولكن بمجرد أن تدرك كيفية عملها، تصبح التناظرات المطاردة وكمياتها المحفوظة طريقة قوية لاقتراح قوانين جديدة للطبيعة. فلا يقتصر دور كل كمية محفوظة علىٰ تسهيل حل المشكلات وحسب، بل من شأنها مساعدتنا في العثور علىٰ المشكلة في المقام الأول.

ولكن علينا أن نكون حريصين. فكما للنظريات الفيزيائية حدود، كذلك فإن التناظرات وقوانين الحفظ التي تظهر شديدة الوضوح في بعض الظروف قد لا تسري بشكل عام.

فالطاقة -التي هي أشهر الكميات الفيزيائية المحفوظة- تُعد حالة مثيرة. تذكر أنها مرتبطة بتناظر زمكاني، وأن قوانيننا علىٰ وجه الخصوص لا تعتمد علىٰ الزمن. وكما تذكر مما تحدثنا عنه في الفصل السابق، فإن نظرية أينشتاين العامة

للنسبية تداخل مع الزمكان نفسه؛ ولذا لا تحتاج إلىٰ إظهار تناظرات زمكانية علىٰ الإطلاق!

فنحن نرىٰ أن الطاقة محفوظة خلال التجارب التي أجريناها علىٰ الأرض، ولذا يبدو أن تناظر انتقال الزمن يسري علىٰ محيطنا الكوني. ولكننا نعلم أيضا أن الكون بأكمله يتوسع؛ فالمسافة بين أي مجرَّتين ستزداد بحلول الغد. وإذا كان الكون محدود الحجم، فسوف يكون أكبر غدا بحيث يزداد المكان حرفيا.

وحقيقة أن الكون يتوسع مفادها أن الزمكان نفسه ليس به تناظرا زمنيا. ومن ثم تمهل فإن الكون بأكمله لا يحفظ الطاقة!

واااو! يا لها من فضيحة! لعلك تتساءل: «ولكن ماذا عن كل ما تعلمته في المدرسة بشأن العجز عن خلق الطاقة أو إفنائها؟» حسنا، لقد أخطأت المدرسة[١]

ويمكننا رؤية عدم الحفظ هذا فعليا. فالضوء مثلا ينزاح نحو الأحمر باتجاه موجات أطول وذلك أثناء رحلته عبر كون متوسع. حيث يفتقد كل فوتون طاقة، ولكن إلىٰ أين تذهب؟[٢] الإجابة: إنها لا تذهب إلىٰ أي مكان. فالكون لا يسري وفق تناظر انتقال الزمن، ولذا لا تُحفظ الطاقة. كما تأبىٰ الطاقة المظلمة أيضا أن تحفظ الطاقة؛ فإذا تضاعف حجم الكون، فسوف يحوي ضعف كمية الطاقة المظلمة.

وهذا لا يعني أن تحل الفوضىٰ. فإن طاقة الكون تتغير علىٰ نحو يمكن التنبؤ به، ولذا يمكننا تتبع كيفية تدفقه وتحوله. في الواقع، فإن فهم كيفية توجيه

---

(١) كمحاضرين في مادة الفيزياء لدىٰ جامعة عريقة، فإن جزء كبيرا من وظيفتنا يشمل تصحيح بعض الزيف الموجود في مواد العلوم بالتعليم الثانوي.

(٢) تنص بعض الكتب علىٰ أن الطاقة المفقودة من الضوء تذهب إلىٰ طاقة التوسع، أيا كان ما يعنيه ذلك. وهذا لن يحدث ببساطة! فالاكوان المليئة بالمادة تتوسع أسرع من تلك المليئة بالاشعاع، وهو عكس ما قد نتوقعه لو كانت الطاقة المفقودة بفعل الفوتونات «تنتقل إلىٰ» التوسع. ولسد ثغرة أخرىٰ، فإن الطاقة المفقودة بفعل الفوتونات لا تقابلها الطاقة التي تكتسبها الطاقة المظلمة.

الطاقة في كون سريع التوسع لتشكل العناصر وذلك في الدقائق القليلة الأولىٰ قد أدىٰ إلىٰ بعض أكثر تنبؤات الكوزمولوجيا (علم الكون) الحديثة إبهارا.

فنحن نعيش في كون لا يحفظ الطاقة. وإذا كان هذا يصيبك بشيء من عدم الأريحية؛ فأنت لست وحيدا: حيث إن أينشتاين نفسه قد حاول دون جدوىٰ استعادة حفظ الطاقة للنظرية العامة للنسبية. ولربما يعاود حفظ الطاقة الظهور في «نظرية لكل شيء» من المأمول أن توحد الجاذبية مع القوىٰ الأخرىٰ، ولكنه قد لا يعاود الظهور. وبالنسبة لوقتنا الحالي، سيكون علينا أن نتعايش معه.

وإذا كان بوسعك تجاوز تلك العلاقة الصادمة، فقد حان الوقت للنظر في سؤال مثير للاهتمام: لماذا توجد تناظرات -ومن ثم قوانين- حفظ بالأساس؟ تذكر أن حفظ الشحنة الكهربية ينشأ من تناظر الدالة الموجية لميكانيكا الكم. فلماذا يوجد هذا التناظر؟ حقيقةً، نحن لا ندري.

يجدر التأكيد علىٰ أنه لا بأس من الناحية النظرية بالأكوان التي ليس لديها التناظرات التي يتميز بها كوننا. قد لا تكون معادلاتها ببساطة معادلات كوننا أو أناقتها، ولكنها تظل متسقة تماما من الناحية الرياضية. ففي تلك الأكوان المختلفة، قد لا تُحفظ كميات مثل الشحنة الكهربية. وكما سنرىٰ قريبا، فإن إقحام تناظرات أخرىٰ من شأنه إحداث نتائج مذهلة، كأن يوجد كون خال من المادة!

فلماذا إذن تؤدي التناظرات دورا مهما في كوننا؟ يدرج الفيزيائيون التناظرات في معادلاتهم مسترشدين بالطبيعة، ومقدمين قوانين الحفظ التي تظهر في التجارب. وبينما تعكس تلك المعادلات الطبيعة (بوصفها إياها)، إلا أنها عاجزة عن اكتشاف مصدر تلك التناظرات. ولذا لم تفسر التناظرات وفقا لأعمق معادلاتنا حتىٰ وقتنا هذا.

ومع ذلك، فقد توصلت مساعينا نحو التعمق في قوانين الطبيعة إلىٰ المزيد من التناظر كلما تقدمنا. وكثيرا ما تحل المشكلات الأعمق بفعل تناظرات أعمق. ولذا فإن سؤال منشأ التناظر هو أحد أعمق الأسئلة في الفيزياء كلها.

ماذا لو لم يكن الكون بهذا التناظر؟ سنبحث حالة حفظ الشحنة الكهربية.

إن الكون محكوم في أكبر مستوياته بالجاذبية التي هي أضعف القوىٰ. وقد يبدو هذا تناقضا، ولكن تذكر أن القوىٰ النووية القوية والضعيفة لديهما نطاق قصير جدا، فليس لديهما تأثير يذكر خارج نواة الذرة. ومع أن القوة الكهرومغناطيسية ذات نطاق بعيد -مثل الجاذبية- إلا أن الشحنات المضادة من شأنها إبطال أثرها. فحيثما قابل الشحنات الموجبة أخرىٰ سالبة؛ يكون تأثير القوة الكهرومغناطيسية محايدا.

وعلىٰ كل، فإن الكون محايد كهربيا. فلو أصبحت محتويات قطاع ما من الكون بشكل ما تسوده الشحنة الموجبة؛ فلا بد وأن توجد شحنات سالبة تقابلها في مكان آخر من الكون. وسوف تنجذب المنطقتان، ويلتقيان في النهاية، ويمتزجان، ويستعيدان التعادل الكهربي في المنطقة.

ومن المهم إدراك قدر دقة التعادل الكهربي التي ينبغي تحقيقها. افترض أنك كنت تكون الأرض وقل اكتراثك شيئا ما بضبط الحسابات، بحيث وضعت مع كل تريليون تريليون تريليون بروتون وإلكترون إلكترونا إضافيا وسط هذا المزيج. حينئذ سيكون حاصل تنافر تلك الإلكترونات الزائدة أقوىٰ من جذب الجاذبية. ولن تكون الأرض محكومة بالجاذبية.

في الواقع، إن صافي الشحنة نفسه (الذي هو جزء في $١٠^{٣٦}$) سيحول دون وجود أي بناء تحكمه الجاذبية في الكون مطلقا. وسوف تخفق المجرات والنجوم والكواكب في الانهيار بفعل جاذبيتها، وإنما ستتشتت بفعل التنافر الكهرومغناطيسي. وسيسفر الأمر عن: كون ذي غاز شديد التشتت، ولا شيء آخر يذكر.

يبدو أن صافي شحنة كوننا الكهربية هو صفر، وهو يحفظ الشحنة الكهربية، ولذا ينبغي ألا يقض هذا السيناريو مضجعك. فنحن لا ندري لماذا شحنة الكون هي صفر، ولكن بالنظر إلىٰ حفظ الشحنة، يبدو أن هذه حالة طبيعية.

وعلاوة علىٰ ذلك، من الأيسر تحليل المنظومات التناظرية؛ ولذا فهي أكثر قابلية للتنبؤ. فالكون الذي ليس به تناظر، ومن ثم ليس به قوانين حفظ، سيكون عبارة عن فوضىٰ. فلن يكون ثمة قوانين بسيطة نكتشفها دون الأحداث المعقدة من حولنا. وقد أجاد الفيزيائي الفائز بجائزة نوبل ديفيد جروس تلخيص هذه القضية:

من المؤكد أنه يصعب تصور تحقيق هذا التقدم الهائل في استنباط قوانين الطبيعة من دون وجود تناظرات معينة. حيث إن القدرة علىٰ إعادة التجارب في أماكن وأزمنة مختلفة قائمة علىٰ أساس عدم تباين قوانين الطبيعة في وجود انتقالات زمكانية. فمن دون الانتظامات المتجسدة في قوانين الفيزياء لعجزنا عن تفسير الأحداث الفيزيائية، ومن دون الانتظامات التي في قوانين الطبيعة، لعجزنا عن اكتشاف القوانين نفسها[١]

وليست قضيتنا في أننا كنا سنعجز عن ممارسة الفيزياء وحسب، كما لو أن انعدام التنبؤ لا يؤثر سوىٰ في أساتذة الجامعات الذي يدونون ملاحظاتهم في المعامل. بل إن الكون غير القابل للتنبؤ يمثل مشكلة رئيسة للكان الحي الذي يحاول العيش، وللعقل الذي يحاول تنظيم الذكريات. حيث تعتمد الحياة -سواء كانت عملية تمثيل الغذاء أو التناسل أو معالجة المعلومات- علىٰ الخصائص المستقرة لبنائها وبيئتها الخاصة. فسوف نقع جميعا في مأزق لو تبدلت خصائص الأكسجين الكيميائية في صباح الغد.

فما هو الحد الأدنىٰ من التناظرات المطلوبة لكي يكون الكون قادرا علىٰ تشكيل الأبنية اللازمة لظهور حياة معقدة وذكية؟ فبالنسبة لمجموعة محددة من التناظرات، هل سينهار الغاز ليشكل النجوم، وهل ستكون التفاعلات النووية كافية لتدفئة أية كواكب تتكثف حولها وإمدادها بالطاقة؟ وهل ستكون الذرات والجزيئات مستقرة وطليقة بما يكفي لدعم الكيمياء الحيوية المعقدة للحياة؟

---

(١) جروس (١٩٩٦).

وبينما يمكننا التعرف علىٰ بعض الكوارث الواضحة، إلا أننا بشكل عام لا ندري. فالمشكلة غاية في التعقيد، وليس بمقدورنا في الواقع سوىٰ أن نعالج الموضوع بشكل سطحي. ولكن كلما تطورت نظرياتنا الفيزيائية؛ قد نستطيع اكتشاف احتمالات الحياة في تلك الأكوان الافتراضية الأخرىٰ.

ولكن كما سنرىٰ في المباحث القليلة التالية، فإن الإفراط في التناظر ليس جيدا أيضا. حيث يبدو أن نقصا قليلا في التناظر يؤدي دورا مهما في سبب وجودنا جميعا هنا!

التناظر عبر المرآة

تختلف القوة الضعيفة -مع قدرتها علىٰ نقل الجسيمات الأساسية إلىٰ بعضها البعض- عن القوىٰ الأساسية الأخرىٰ في الكون. ولكن هناك سمة أخرىٰ للقوة الضعيفة التي تعتبر أكثر غموضًا وغرابة، ولكنها غالبًا ما تكون غير معروفة. في ما يلي، قد يبدو أننا قد سلكنا مليون ميل في مسالة الضبط الدقيق، لكن واصل معنا، فهذه الأشياء هي حقا مثيرة للاهتمام وفي غاية الأهمية.

لنبدأ هذا الموضوع بقصة؛ تخيل أنك ذاهب إلىٰ السينما حيث يُعرض فيلم أبيض وأسود علىٰ الشاشة الكبيرة. ولكونها حكاية أُعدت في أفريقيا، فإنك تُحلق فوق غابات كثيفة وقطعان من الحيوانات تعبر السهول الهائلة، وتهبط الكاميرا فوق حفرة مائية حيث يرىٰ حمارٌ وحشي متوتر أشكالَ خيال لتماسيح تسبح. وفجأة، تدخل مجموعة من الناس إلىٰ المكان حاملين بنادق الصيد!

يتقدم رجل منهم إلىٰ الأمام ويرفع بندقيته ليطلق النار.(١) ويبدو أن شيئًا ما لا يجري بالشكل الصحيح، حيث إنه يمسك بماسورة البندقية بيده اليمنىٰ ويضغط علىٰ الزناد بيده اليسرىٰ، فمُطْلِق النار أعسر (أي يستخدم اليد اليسرىٰ بشكل أساسي)، ولكن ليس هذا الأمر غريب علىٰ وجه الخصوص لأنه من بين كل

---

(١) لم يتضرر أي حيوان أثناء كتابة هذا الكتاب، وإنما كل التجارب قد تمت علىٰ الطلاب الخريجين.

عشرة أشخاص تقريبًا يحتاج شخص إلىٰ تلك المقصات «الخاصة» (للأعسرين). ولكن تتطور الخدعة عندما يبدأ باقي الصيادون في إطلاق النار وهم أيضًا يحملون بنادقهم بيدهم اليسرىٰ. فاجتماع عدد كثير من الناس الأعسرين مع بعضهم البعض يبدو أمرًا غريبًا للغاية.

بينما تحدق النظر، رأيت شيئًا آخر يبدو خاطئًا. فعادةً ما يكون ترباس أسلحة الصيادين -بنادق لها صمام آمان- علىٰ الجانب الأيمن لكي يمكنهم سحبها باليد اليمنىٰ، ولكن هؤلاء الصيادين قاموا بتعديل بنادقهم ليجعلوا الترابيس علىٰ الجانب الأيسر. وبالتالي أصبح الصيادون قادرون علىٰ استخدام بنادقهم المُعدلة بكفاءة بدلًا من الاضطرار إلىٰ الوصول بطريقة ملتفة حول البندقية للوصول إلىٰ الترباس الأيمن. ياله من أمر مثير للفضول!.

لكن في أثناء مشاهدتك، تلاحظ شيئًا غريبًا للغاية. حيث اقتربت الكاميرا في الفيلم للكشف عن شاحنة الصيادين والتي يوجد علىٰ طول جانبيها كلمات مكتوبة، وبالرغم من أنه يمكنك قراءة تلك الكلمات بوضوح «نادي الصيادين» (The Hunters Club)، إلا أنك ترىٰ أن الحروف قد انقلبت:

The Hunters' Club

فعندها تدرك أن الفيلم الذي تشاهده ليس حكاية عن مجموعة من الصيادين الأعسرين معهم بنادقًا مصممةً خصيصًا لهم، ولكنه بالأحرىٰ يدور حول صيادين يستخدمون اليد اليمنىٰ ومعهم أسلحة جاهزة (أي ليست مصنوعة خصيصًا لهم) إلا أن المخرج قد قلب شريط الفلم عند وضعه في جهاز العرض.

لماذا لم تلاحظ هذا الأمر مبكرًا؟ فطوال كل هذه المشاهد المهيبة للغابات الكثيفة والسهول والحيوانات في حفرة المياه، هلّا أدركت ولو لمرة واحدة أن شريط الفيلم قد انقلب.

وإنما فقط عند عند ظهور شيء غير متناظر - مثل انتشار استخدام اليد اليسرىٰ بين البشر - بدأت تشك في أن شيئًا ما لم يكن صحيحًا تمامًا.[1] ومع ذلك، فإن هذا الأمر ليس به قدر كبير من اللاتناظر حيث إن الأَعْسَرِيِّة ليست بهذه النُدرة، ورؤية مجموعة من الأعسرين -مع كونه مثير للاهتمام- إلا أنه ليس مستحيلًا، وبالمثل مع البنادق الأعسرية حيث يوجد بعض المعدات والأدوات الأعسرية مصنوعة بشكل خاص.[2]

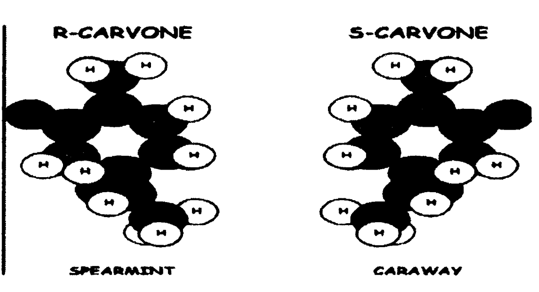
ولكن كان ترتيب الحروف أمرًا قاطعًا، فالحروف والكلمات غير متناظرة بشكل لا لبس فيه، ومن الواضح أن العالم الذي كنت تشاهده في الفيلم لم يكن هو العالم الذي تعيش فيه.

إن مسألة اللاتناظر أعمق من مجرد استخدامنا لأطرافنا، فالكثير من الجزيئات بداخلنا داخل الأجسام الحية غير متناظرة، وهذا يؤثر علىٰ كيفية تفاعلها مع الجزيئات الأخرىٰ. خذ علىٰ سبيل المثال، المركب كارفون (Carvone)، فهذا الجزيء - الذي يظهر بشكل طبيعي - معقد للغاية حيث تترتب فيه ٢٥ ذرة كما هو مبين في الشكل (٣٣). وفي الواقع، لدينا طريقتين لترتيب الكارفون، إحداها هي أن يكون أحد شِقَيْه صورة مرآتية للآخر. ومن الناحية الكيميائية، يبدو أن كلا منهما نفس الجزيء حتىٰ تستنشق عَيِنَةً منه. فبينما تنبعث من النسخة «اليمينية» رائحة النعناع، إلا أن الجزيء المرآتي (الانعكاسي) ينبعث منه رائحة بذور كَرَوْيَا.

---

(١) كانت نسخة الصورَةُ المِرْآتِيَّة الحقيقية للارض جوهرية لفيلم الخيال العلمي الكلاسيكي (Doppelganger) في عام ١٩٦٩، وهو المعروف أيضًا باسم رحلة إلىٰ الجانب الاقصىٰ للشمس (Journey to the Far Side of the Sun). وإنّ حقيقة كونها صورَةُ مِرْآتِيَّة للكوكب تظهر ببطء من خلال ملاحظة اللاتناظر غير المتوقع.

(٢) إن جيرينت (أحد مؤلفي الكتاب) يميني اليد، لكنه مجبول علىٰ الاكل باليد اليسرىٰ، وغالبًا ما يُصيبه الاحباط في المطاعم عندما يطلب سكين سمك أعسر. فعلىٰ الرغم من وجود أدوات للاعسرين، إلا أنها تبدو أندر من عدد الاشخاص الذين يستخدمون اليد اليسرىٰ. وقد حاول لوقا -وهو يميني اليد أيضًا- استخدام مقص أعسر في عام ٢٠٠٤ وما زال يتعافىٰ من آثار تلك الفعلة.



هذان اثنان من ايزومرات (isomers) الكارفون. وبالنسبة للإنسان، تنبعث من النسخة (R) رائحة النعناع، بينما تنبعث من النسخة (S) رائحة الكراويا مما يدل علىٰ أن مستقبلات الشم يجب أن تكون قادرة علىٰ التميز بينهما وبالتالي فهم أيضًا غير متناظرين.

وعلىٰ نحو مماثل، يحتوي الليمونين (زيت يستخرج من قشور الليمون) علىٰ شكل له رائحة البرتقال بينما صورتة المرآتية يفوح منها رائحة الليمون، وتحتوي بعض السكريات والكربوهيدرات التي يمتصها جسمك أثناء عملية الهضم علىٰ جزيئات مرآتية لا فائدة فيها، ويتم إفرازها ببساطة.

إن تفضيل جسمك للجزيئات ذات درجة معينة من اليدوانية (سيطرة يد -أو شق- علىٰ الأخرىٰ) يزداد عمقًا؛ فالأحماض الأمينية التي تُنشئ منها خلايا جسدك البروتينات والأنسجة والأعضاء جميعها أعسرية، ويؤدي وجود حمض أميني واحد أيمن في بروتين إلىٰ طيه بشكل مختلف مما يؤدي إلىٰ تكوين جزيئًا مختلفًا جدًا (ومحتمل الضرر). ما زالت الحياة الأعسرية تمثل لغزًا؛ ويعتقد بعض العلماء أن القوة الضعيفة هي جزء من الجواب.

ما عمق هذا التناظر؟ هل يتمتد إلىٰ أن يصل لكونه مكتوبًا في قوانين الكون؟

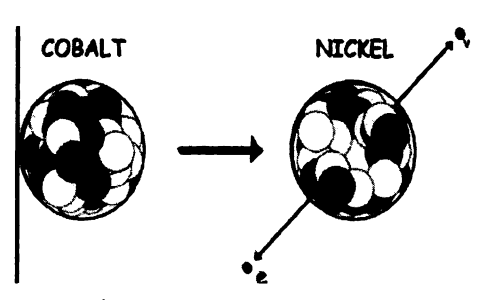
يتحكم في الكون -علىٰ حد ما رأيناه منه- بعض الجسيمات والقوانين الأساسية، تخيل أننا ذاهبين إلىٰ السينما ووجدنا فيلمًا معروضًا لتفاعل الإلكترون مع الفوتون، أو لتفاعل الكواركات مع الغلونات داخل نواة الذرة. والآن -كما هو الحال مع الصيادين- نتسائل ما إذا كان بإمكاننا معرفة الفرق بين الفيلم الأصلي والفيلم الذي تم قلبه بطريقة مرآتية.

وهذا يبدو غير محتمل لأن الإلكترونات والكواركات لا تحمل أحرف صغيرة عليها (أي كما الحال في شاحنة الصيادين) وكذلك الفوتونات والغلونات، فلا شيء يبدو خاطئا في فيلم يُعرض بالتصوير المرآتي، فيدخل الإلكترون من يسار المسرح بينما يأتي الفوتون من يمين المسرح، ويَرْتَدُون في بعضهم البعض ويخرجون من حيث ما أتوا، مع عكس أدوار الدخول، فيبدو أن القوانين الأساسية متناظرة (أيْمَنِي وأعسري) وهو ما يصاغ بلغة الفيزياء: القوانين غير متباينة بشكل ثنائي (زوجي).

لكن مرة أخرىٰ، تعتبر القوة الضعيفة هي المختلفة عن بقية المجموعة. فالقوة الضعيفة تنتهك هذا الثبات المتناظر! وسنشرح ما يعنيه هذا بعد قليل، ولكن عندما تم اكتشاف هذا الأمر في منتصف خمسينيات القرن الماضي، فقد كان بمثابة صدمة. فقد كان يبدو واضحًا للجميع تقريبًا أن جميع التفاعلات «متكافئة مُسْتَبْقَةً»، وكان الأمر ممكنًا تمامًا في هذا السيناريو المقلوب بشكل مرآتي كما هو الحال في السيناريو الأصلي. فكيف للكون المادي أن يعرف الفرق بين اليسار واليمين؟

ولكن الكون يعرف ذلك. لقد كان فهم القوة الضعيفة عملية صعبة، ولكن في ثلاثينيات وأربعينيات القرن الماضي، بدأ الفيزيائيون في معرفة ما كان يحدث عندما -علىٰ سبيل المثال- يُخَرج الإلكترونات والبوزيترونات من نواة الذرات. فبدأ البعض يتساءل عما إذا كانت القوة الضعيفة تطيع التناظر المتكافئ وبالتالي تم اقتراح بعض تجارب لاختبار ذلك. ربما تكون هذه هي أهم التجارب التي لم تسمع بها من قبل!

واحدة من التجارب اقترحها اثنين من الباحثين الشباب في الولايات المتحدة الأمريكية تشنّينغ يانغ وتسونج داو لي اللذان أجريا التجربة في المكتب القومي للمقاييس المعيارية بواشنطن العاصمة. ودرست هذه التجربة الدقيقة التحلل الإشعاعي لعنصر الكوبالت.



شكل ٣٤: التجربة الخاصة بالباحثين (اختصارًا Wu) وتُظِهر أن التحلل لنواة الكوبالت غير متناظر بشكل شديد جدًا، حيث لا تُبعث الإلكترونات إلا للأسفل فيما يتعلق بباتجاه دوران النواة. وذلك لأن جسيم الانحلال الآخر -النيوترينو- يمكنه أن يدور لاتجاه واحد فقط. فكيف لها أن تعرف اتجاه اليسار واليمين في الكون؟

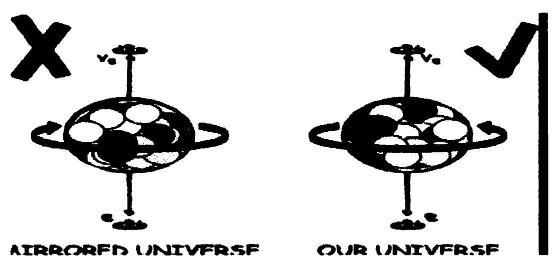
وعنصر الكوبالت يعتبر نواة ثقيلة إلىٰ حد ما، فهو يحمل ٢٧ بروتونًا و٣٣ نيوترونًا، وتُحَوِله القوة الضعيفة إلىٰ النيكل عند العمر النصفي الإشعاعي بعد ما يزيد عن ٥ سنوات فقط مُصدرًا إلكترونًا في اتجاه ونيترينو في الاتجاه الآخر (الشكل ٣٤). وبسبب طبيعتة النيوترينو الخاطفة، يستطيع أن يهرب دون اكتشاف بينما يُمكن الإمساك بالإلكترون بسهولة.

سيشاهد عالم معه كاشف للإكترون بالقرب من كتلة الكوبالت أن الإلكترونات تخرج في جميع الاتجاهات مع تدفق مماثل من النيوتريونات غير المرئية بعيدًا عن الكتلة. يبدو كل شيء جميلًا ومتماثلًا، فأين اللاتناظر الذي يلتمسه يانغ ولي؟

لكي نرىٰ ذلك، فنحن بحاجة إلىٰ إقناع نواة الكوبالت بالوقوف في صف، ولكن هذا قد يبدو غريبًا، لأن النواة عبارة عن كرات من البروتونات والنيوترونات، فما الذي تستخدمه لتوجيه النوىٰ إذا كان عليهم أن يصطفوا؟

كما ذكرنا سابقًا، تتمتع الجسيمات الأساسية -اللبتونات والكواركات- بخاصية الدوران، وكذلك تدور النواة لأنها مركَّبة من جزيئات. وتعمل كل نواة من الكوبالت مثل مغناطيس صغير، ومع اتجاه الدوران تتصرف مثل إبرة البوصلة.

فإذا وضعنا نوىٰ الكوبالت في مجال مغناطيسي خارجي، فإن كل منها ينبغي أن يدور في اتجاه الشمال.



شكل ٣٥: في كوننا -عند انحلال الكوبالت إلىٰ النيكل- تنبعث الإلكترونات في الاتجاه المعاكس للدوران (تُرصد علىٰ أنها عكس اتجاه عقارب الساعة من الأعلىٰ؛ الجهة اليمنىٰ). في الرصد المرآتي للكون (الأعسر) ينبعث الإلكترون في نفس اتجاه الدوران (أي في الجهة اليسرىٰ)، وهو أمر لا يتم ملاحظته فعليًا في كوننا.

إذا ها هي التجربة؛ ضع نوىٰ الكوبالت في مجال مغناطيسي قوي مع جعل الدوران يشير إلىٰ الأعلىٰ، فسينحل بعض هذا النوىٰ. ومثل بُرادة الحديد التي تصطف في وجود المغناطيس، فإن الإلكترونات الصادرة تريد أن تتحرك علىٰ طول خطوط الحقل مغناطيسي، ولكن من المُرجح أن يتم إطلاقها بشكل متساوي للأعلىٰ أو للأسفل. ولكن ليس هذا ما يُرصد، فالإلكترونات تنبعث فقط لأسفل عكس اتجاه دوران الكوبالت.

ربما تقول، وما المشكلة في ذلك. ولكن تخيل أنك تحمل مرآةً حتىٰ وقت انحلال نواة الكوبالت؛ ماذا ترىٰ؟ في المرآة، يدور كلٌ من النواة والإلكترونات بطريقة عكسية، وإذا نظرنا من الأعلىٰ للأسفل نراهم يدورون في اتجاه عقارب الساعة وليس عكس اتجاه عقارب الساعة. ومع ذلك، يظل الجزء الأعلىٰ والسفلي علىٰ حالهما. ففي هذا الكون المرآتي، تنبعث الإلكترونات في نفس اتجاه دوران الكوبالت، وليس عكسها، وهذا لم يسبق له مثيل في كوننا (الشكل ٣٥).

فكر في مدىٰ غرابة هذا الأمر للحظة. فكل العوامل الفيزيائية التي تشاهدها في الفيلم -أي شيء يحتوىٰ علىٰ القوة الشديدة أو القوة الكهرومغناطيسية أو الجاذبية- لن يكشف لك ما إذا كان الفيلم قد تم قلبه أم لا ولكن إذا عُرض عليك فيلمًا تنحلُّ فيه نوىٰ الكوبالت في مجال مغناطيسي، فيمكنك أن تراقب الدوران والاتجاه الذي تنبعث منه الإلكترونات، وستعرف علىٰ الفور ما إذا كنت تنظر إلىٰ كوننا أم إلىٰ نسخة معكوسة (مرآتية). فالكون في المرآة يعمل بشكل مختلف!

كانت هذه النتيجة مذهلة، وفاز يانغ ولي بأحد أسرع جوائز نوبل في التاريخ[1]؛ وخسر فينمان -في الوقت نفسه-رهانًا بقيمة ٥٠ دولار مع زميله العالم نورمان رامزي. ولايزال العلماء يكابدون من أجل فهم وتقدير معنىٰ هذه النتيجة.

لماذا تكون القوة الضعيفة غير متناظرة، بينما جميع القوىٰ الأخرىٰ متناظرة؟ يتعلق الأمر بجسيم مُرَاوِغ؛ النيوترينو. لكي نفهم ذلك، دعونا ننظر إلىٰ أحد أبناء عمومة النيوترينو وهو الأكثر شهرة؛ الفوتون، وهو يدور مثله مثل الجزيئات الأخرىٰ. إذا تمكنا من إلقاء نظرة علىٰ دوران الفوتونات التي تتوجه نحونا، فسنرىٰ بعضها يدور في اتجاه عقارب الساعة بينما يدور البعض الآخر في عكس اتجاه عقارب الساعة. ولكن إذا وضعنا المرآة أعلىٰ الفوتون الذي يدور اتجاه عقارب الساعة، نجده يُصدر فوتونًا يدور في عكس اتجاه عقارب الساعة، الأمر الذي يتوافق مع كوننا تمامًا.

ولكن ترفض النيوتريونات أن تتوافق مع هذه الصورة النمطية المتناظرة. فلو فَحَصْتَ دوران النيوتريونات التي تتوجه ناحيتك، فستجدها جميعًا تدور في

---

(١) نُشرت مقالة يانج ولي التي تتنبؤ بانتهاك التكافؤ التناظري في عام ١٩٥٥، وحصل الباحثان علىٰ جائزة نوبل في عام ١٩٥٦. فعلىٰ سبيل المقارنة، حصل آينشتاين علىٰ جائزة نوبل لعام ١٩٢١ لمساهماته في الفيزياء، وخاصة تلك المساهمات في «عامه المعجزة» ١٩٠٥. لم يكن الباحثين اللذين أثبت عملهما التجريبي وجود انتهاك للتكافؤ قد استلما الجائزة بعد!

اتجاه عقارب الساعة. جميعها![1] فإنهم يعرفون أمر الاتجاه اليمين واليسار في كوننا!

فلماذا يتصرف الكون بهذه الطريقة؟ والحقيقة هي أنه لا أحد يعرف. ولكن كما سنرىٰ لاحقًا، تلعب هذه الأنواع الدقيقة وغير المتناظرة دورًا مهمًا للغاية في سبب وجودنا ابتداءًا.

المادة أكثر من المادة المضادة

كما ذكرنا من قبل، إن جزيئات النموذج القياسي مصحوبة في هذا الكون بجسيمات مضادة، مثل الإلكترون مع البوزيترون. وتشبه الجسيماتُ المضادة الجسيماتِ العادية، باستثناء أن كل أعدادها الكميّة قد انقلبت. فعلىٰ سبيل المثال، لكل من الإلكترون والبوزيترون شحنات معاكسة.

والكواركات مثلها مثل الإلكترونات لها كواركات مضادة، وكذلك الباريونات المركبة من الكوركات المضادة لها باريونات مضادة. لذلك يمكننا تركيب البروتونات المضادة والنيوترونات المضادة. وباستخدام البروتونات المضادة والبوزيترونات، يمكننا تركيب هيدروجين مضاد. وفي الواقع، يمكننا بناء الجدول الدوري المضاد (antiperiodic table) بأكلمه ويكون متطابقًا كيميائيا لنظيره من المادة. وسوف يُصِدر الهيدروجين المضاد نفس الطيف الضوئي مثل الهيدروجين، وسينضم الهيدروجين المضاد بترحيب إلىٰ الأكسجين المضاد ليُركبوا الماء المضاد، والذي سيتدفق ويتجمد ويرش بنفس الطريقة تمامًا مثل الماء العادي.

وفي الواقع، يمكننا أيضًا أن نُركب إنسانًا مضادًا -لكل المقاصد والأغراض- وسيكون مطابقًا لي ولك. ولكن إذا قابلت مثل هذا الشخص المضاد، فلا تتصافحا! لأن البروتونات والنيوترونات والإلكترونات الخاصة بك

---

(١) هناك أمرًا دقيقًا. فبينما تدور النيوتريونات في اتجاه عقارب الساعة، فإن الجسيمات المضادة والجينات المضادة تدور جميعها في اتجاه عكس عقارب الساعة.

وكذلك البروتونات المضادة ووالنيوترونات المضادة والإلكترونات المضادرة الخاصة بهم ستتحول إلىٰ وميضًا شديدًا من الفوتونات.

ولكن أحد الاختلافات المهمة بين المادة والمادة المضادة في كوننا، هو أنه بينما المادة منتشرة، إلا أن المادة المضادة نادرة للغاية. لماذا؟!

ولكي نفهم هذا الأمر، يجب علينا أن نعود إلىٰ أُولىٰ لحظات الكون. وكما رأينا في الفصل السابق، تميزت هذه اللحظات الأولية بتوسع متسارع للغاية، وهو ما يعرف باسم التضخم.

ويعتبر التضخم مطلوب لمجانسة بعض خواص النموذج الكوني القياسي، لكنه لا يزال غير مفهوم. والآلية التي بدأته وقادته وأنهته في نهاية المطاف لاتزال موضوع نقاش مستمر. وكذلك تعتبر مدة التضخم أمرًا بالغ الأهمية لخواص الكون الحاملة للحياة، ولاسيما وضع أسس التركيب الكوني.

ويلعب التضخم دورًا هامًا آخرًا في وجودنا. فبما أن التضخم يسبق (في التكوين الكوني)، فقد تقلصت كلٌ المادة والطاقة في الكون إلىٰ درجة لا يمكن تخيلها ويتم استبدالهما بطاقة التضخم (وغيرها مما يدفع مجال التضخم). وعندما ينتهي التضخم، تتحول هذه الطاقة إلىٰ مادة وإشعاع، وهو ما يعرف بعملية إعادة التسخين. ومرة أخرىٰ، مازالت عملية إعادة التسخين غير مفهومة فهمًا كافيًا. (هل بدأت في ملاحظة سمة ما هنا؟)

وفي هذا البحر الغاضب، تصطدم الفوتونات لتكوين جسيمات وجسيمات مضادة، وتتحول أزواج الجسيمات والجسيمات المضادة بعد تدميرها إلىٰ فوتونات. ويخضع هذا التوليد والتدمير المستمر للجزيئات والإشعاع لقوانين الحفظ، لذلك بينما قد يتقلب عدد الإلكترونات والكواركات، إلا أن صافي الشحنة في الكون تظل صفرًا.

ولكن، ماذا عن قوانين الحفظ الأخرىٰ؟ يبدو أن عدد الباريون -أي عدد الباريونات سالب عدد الباريونات المضادة- هو كمية محفوظة في نموذجنا

القياسي لفيزياء الجسيمات.[1] وبالتالي، بينما يتقلب عدد البروتونات والبروتونات المضادة، يجب أن يظل رقم الباريون الصافي صفرًا.

وكلما توسع الكون أو بَرَدَ، تنخفض طاقة كل فوتون في بحر الإشعاع. ولكي تُنشئ زوج من الجسيمات أو الجسيمات المضادة، فيجب عليك توفير طاقة كافية علىٰ الأقل لتشكيل كتلتها. في النهاية، فإن الفوتونات الموجودة في الكون لديها طاقة قليلة جدًا لتكوين نيوترونات ونيوترونات مضادة وبروتونات وبروتونات مضادة. وبعد فترة قصيرة، تصبح عدد حتىٰ الإلكترونات والبوزيترونات الأقل كثافة أكثر من اللازم. وتستمر أزواج الجسيمات والجسيمات المضادة هذه في التحول إلىٰ إشعاع. وفي النهاية، تختفي جميع الجسيمات والجسيمات المضادة في بحر الإشعاع. وبسبب الحفاظ علىٰ عدد الباريون، فإننا نتوقع وجود صفر بروتونات ونيوترونات بفاعلية في الكون.

إذًا، لقد اتبعنا الفيزياء كما نعرفها، وتوصلنا إلىٰ نتيجة خاطئة. ربما لاحظت وجود الكثير من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات حولنا، فأنت تكونت منهم. فلماذا لا تزال البروتونات والنيوترونات متوفرة في الكون لإنشاء النجوم والكواكب والأشجار والبشر؟ لماذا نسبة المادة أكثر من نسبة المادة المضادة؟ فمن الأفضل أن نعيد النظر في السيناريو السابق ونحاول تحديد أين وقع الخطأ.

حاول علماء الكونيات علىٰ مدىٰ العقود القليلة الماضية كشف هذا اللغز. وحتىٰ الآن، ليس لدينا نظرية كاملة ومختبرة وناجحة في فيزياء الجسيمات لشرح السبب وراء تركيبنا من المادة بينما كل المادة المضادة قد ذهبت.

---

(١) بالنسبة للخبراء، يمكن أن تنتهك العمليات التي تنطوي علىٰ الاسفارونات (sphalerons) عدَدَ الباريون والليبتون مع الحفاظ علىٰ اختلافهم. ومع ذلك، «بينما يستوفي النموذج القياسي جميع شروط التكوين الحيوي (بما في ذلك انتهاك رقم الباريون)، إلا أنه لا يمكن إنتاج رقم الباريون المطلوب.» (Dine and Kusenko, 2003) وسنقوم بتبسيط ناقشنا هنا بالتركيز علىٰ أشكال عدم التناظر وراء النموذج القياسي المطلوب.

ولكن هناك أطراف أدلة، فيمكننا تقدير مقدار عدم التناظر الذي نحتاجه عن طريق قياس عدد الباريونات في الكون ومقارنته بعدد الفوتونات في الخلفية الكونية للموجات المكروية؛ وتَبَّقىٰ هذا الإشعاع من تحول الجسيمات والجسيمات المضادة في بداية الكون. ويحتوي عالمنا علىٰ جسيم واحد تقريبًا لكل مليار فوتون، وبالتالي يقابل كلَ مليار بروتون مضاد في ظروف الكون الأولية مليار وواحد بروتون.

وجدد العالم الفيزيائي الروسي العظيم أندريه ساخاروف بعض الظروف اللازمة لتكوين مادة أكثر من المادة المضادة، وهي ظروف مفقودة من النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، فيجب أن نستغنىٰ عن أمر غير قابل للتفاوض وهو رقم الباريون للحفاظ علىٰ النظام، حيث يوجد عقدة خفية في رياضيات فيزياء الجسيمات توجب أن يكون العدد الإجمالي للباريونات (سالب الباريونات المضادة) لا يتم حفظه بشكل كامل.

أَيّما كان سبب هذا اللاتناظر، فمن الواضح أن الحياة بحاجة إلىٰ المادة! ولو لم يكن هناك تباين (لاتناظر) في المادة والمادة المضادة، فلم يكن لكوننا أن يصبح سوىٰ بحر بارد من الإشعاع خالٍ تمامًا من الجسيمات التي تصنع النوىٰ والذرات، وهذه ظروف واضحة ورائعة لكونٍ لايسمح بالحياة - فلا يوجد تركيب علىٰ الإطلاق! فالإشعاع بالتأكيد لطيف، إلا أنه لا يفعل الكثير من تلقاء نفسه.

ولكن لماذا اللاتناظر جزءًا واحدًا من مليار جزء؟ ولماذا لم يكن جزءًا واحدًا من تريليون جزء؟ أو جزءًا واحدًا من جزئين؟ ولكي نجيب علىٰ هذا، فنحن بحاجة إلىٰ معرفة مصدر هذا اللاتناظر. فيمكن أن تكون القوة غير التناظرية الجديدة التي نحتاجها هي القوة x التي قابلناها في الفصل الرابع، حيث أنك تتذكر أن القوة x يمكنها أن تحول الباريونات إلىٰ لبتونات منتهكةً بذلك قانون الحفاظ علىٰ رقم الباريون. وبما أن رقم الباريون لم يتم حفظه في أُولىٰ لحظات الكون، فلن يتم حفظه في المستقبل البعيد بسبب إنحلال البروتون. فيمكن للعملية

ذاتها التي جلبت ذراتنا إلىٰ حيز الوجود أن تؤدي في النهاية إلىٰ ذوبانها مرة أخرىٰ إلىٰ إشعاع.

وفي هذه الحالة، تتعلق نسبة اللاتناظر بشدة القوة X؛ فإذا كانت القوة ضعيفة للغاية، فسيكون هناك قدرًا ضئيلًا للغاية من اللاتناظر، وبالتالي لا يوجد ما يكفي من المادة في الكون لجعل أي شيء مثير للاهتمام علىٰ الإطلاق. ومن ناحية أخرىٰ، لو كانت القوة x قوية جدًا، فستنحل البروتونات بسرعة. وأدرك الفيزيائي يوجين فينر في أربعينيات القرن الماضي أن العمر يجب أن يكون طويلًا؛ كما قال «يمكنني أن أشعر به في عظامي». فمع انحلال البروتون بشكل أسرع، فإننا سنتوهج حيث إن البروتونات هي التي تجعل ذراتنا تنحل. وحتىٰ لو استمرت البروتونات إلىٰ حوالي ١٠ أس ١٤ تقريبًا، فإن الطاقة التي يتم إلقاؤها في أجسامنا ستؤدي إلىٰ حدوث طفرات جينية وسرطانية.

بينما تبدو القوة X دليلًا علىٰ الضبط الدقيق، إلا أننا يجب أن نرجئ الحكم، فنحن لا نعرف ما إذا كانت القوة X مسؤولة عن عدم تناظر المادة والمادة المضادة، ونحن لا نعرف ما يكفي عن خواصها لمعرفة ما إذا كانت مضبوطة ضبطًا دقيقًا أم لا ففي حالات الضبط الدقيق التي ناقشناها في الفصول السابقة -مثل استقرار النواة أو تشكيل المجرات- نجد أننا نتعامل مع الفيْزياء المألوفة حيث توجد النظريات الناجحة التي خواصها الرياضية مفهومة جيدًا والتي تم اختبار توقعاتها بدقة استنادًا علىٰ التجربة. فتعتمد تلك الحالات من الضبط الدقيق علىٰ ما نعلمه وليس علىٰ ما نجهله. ولسوء الحظ، لا نجد مثل هذه الحالة في فيزياء تناظر المادة والمادة المضادة. ومع أننا نشتبه في الضبط الدقيق، إلا أنه لا يمكننا أثبات ذلك في غياب نظرية مفهومة ومختبرة بشكل جيد.

ومع ذلك، فإننا قد تُركنا مع أسئلة مُلِحة: لماذا يسمح كوننا بكمية معتدلة من عدم التناظر في رقم الباريون؛ كمية كبيرة بما يكفي لإنتاج المادة التي تُكونك وتكونني، ولكن قليلة بما يكفي لعدم انحلال بروتوناتنا؟ لماذا لا يسمح كوننا بتناظر مماثل لما في قانون بقاء الشحنة، والذي سيؤدي وجوده إلىٰ مثل هذه الفوضىٰ؟

إقترانات غير سعيدة

هناك جانب آخر من جوانب القوىٰ نحتاج أن نأخذه في الاعتبار. تنقسم القوىٰ الأساسية بعناية داخل كوننا: تتخاطب الكتلة مع الكتلة الأخرىٰ عن طريق الجاذبية، وتتخاطب الشحنة الكهربائية مع الشحنة الكهربائية الأخرىٰ عن طريق القوة الكهرومغناطيسية.[١] ولكن يمكننا أن نصف طرق أخرىٰ لكيفية تخاطب الجزيئات مع بعضها البعض ضمن الإطار الرياضي لميكانيكا الكم.

يجدر بنا أن نوضح ماذا نعني بـ «التخاطب»، خذ علىٰ سبيل المثال الإلكترون. في ميكانيكا الكم، الإلكترون هو اهتزازٌ في مجال الإلكترون، ولكي «يتخاطبون» فيما بينهم، تولد الإلكترونات اهتزازات في المجال الكهرومغناطيسي، وهي الفوتونات. لذلك عندما نقول أن الإلكترونًا يخاطب إلكترونًا آخرًا، فإننا نعني أن أحدهما يخلق اهتزازًا في المجال الكهرومغناطيسي يشعر به الآخر. وتخضع كيفية تفاعل مجال الإلكترون مع المجال الكهرومغناطيسي لثوابت الاقتران (coupling constants) التي تمت مناقشتها سابقًا.

يقدم النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات كل الطرق التي تتخاطب بها الجزيئات (وحقولها) مع بعضها البعض في كوننا. ولكن تسمح رياضيات نظرية المجال الكمومي -التي يقوم عليها النموذج القياسي- بعدة طرق أخرىٰ لتخاطب الجسيمات فيما بينها. وهذا يعني وجود مجالات أخرىٰ، وثوابت اقتران أخرىٰ، وبالتالي قوىٰ أخرىٰ لتحريك ونقل الجزيئات.

فيمكن إضافة هذه القوىٰ إلىٰ معادلاتنا، ويمكن اختبار تنبؤات مثل هذه النظرية. فقد فشلت التجارب حتىٰ الآن في الكشف عن مثل هذه الاقترانات في كوكبنا. وفي هذا السياق، يعتبر النموذج القياسي واضح ومرتب بشكل مدهش.

---

(١) إذا كانت القوة الكهرومغناطيسية تجمع بين الكهرباء والمغناطيسية، فلماذا نتحدث فقط عن الشحنة الكهربائية؟ ماذا عن الشحنة المغناطيسية؟ وتحتوي معادلات الكهرومغناطيسية علىٰ مساحة فارغة تنتظر فيها الشحنات المغناطيسية، وفي الحقيقة، ستصبح المعادلات أكثر تناظرًا إذا تم إدراجها. وحتىٰ الآن، لم يتم العثور علىٰ أي أثر للشحنة المغناطيسية (المعروف باسم أحادي القطب المغناطيسي). وكل القوة المغناطيسية لدينا في الكون لدينا هي نتيجة لدوران أو تحرك الشحنات الكهربائية.

فهل يعتبر النموذج القياسي الهزيل مُقَوِّم للحياة المعقدة، أم أنه فقط يجعل الكون أكثر سهولة في الفهم؟ وإذا كان السبب هو كونه أكثر انتشارًا، فما تأثير هذه القوىٰ الأخرىٰ المحتملة علىٰ الحياة في الكون؟ فهل يمكن أن يعني التفاعل الإضافي بين الإلكترونات والكواركات أن الذرات المستقرة لم تكن لتتشكل أبدًا؟ فبينما يمكننا أن نتخيل مثل هذه السيناريوهات، إلا أن هناك كثيرًا جدًا من الاحتمالات الرياضية التي لا يمكن استكشافها بالكامل. لذلك فمن الصعب إصدار حكم حتىٰ الآن فيما إذا كانت نظافة النموذج القياسي ضرورية لتشكيل حياة معقدة وذكية في الكون. لكن عند النظر في الحالة المحتملة التي كان من الممكن أن يوجد الكون فيها، فيجدر بنا بالتأكيد التفكير في الأمر.

طبيعة الزمن

لطالما حيرت طبيعة الزمن الكثير من الناس لفترة طويلة نعم الزمن.

فما هو الزمن؟ ومن يستطيع أن يشرح معناه بسهولة وبإيجاز؟ من يستطيع حتىٰ ولو بفكره أن يفهمه ويتلفظ حتىٰ بكلمة لها علاقة به؟ ولكن ما هو الشيء الذي نشير إليه في حديثنا بشكل أكثر دراية ومعرفة من الزمن؟ فنحن نفهم بالتأكيد عندما نتحدث عنه؛ ونفهمه أيضًا عندما نسمع شخصًا آخرًا يتحدث عنه. فإذا ما هو الزمن؟ فأنا أعلم معناه إذا لم يسألني عنه أحد، ولكن إذا أردت أن أشرح معناه للسائل فلا أعرف. (اعترافات القديس أغسطينوس (٤١٥ م))

فَكِرْ في خواص الحياة التي ناقشناها حتىٰ الآن - عملية التمثيل الغذائي والتكاثر ومعالجة المعلومات والتفكير وكتابة الكتب. فكل هذه الأمور تستغرق جزءًا من الزمن حيث إنهم عمليات، فعلينا أن نتساءل إذًا، ما هو الزمن؟

ربما يكون انطباعنا الأساسي عن الزمن هو أنه يمر، فالحظة الحالية ستصبح قريبًا من الماضي ويحل محلها شيئًا كان سالفًا في المستقبل. ومع ذلك، فيبدو أننا نُعَرِّف الزمن بكلمات زمنية أخرىٰ: مثل لحظة، تصبح، الماضي،

سالفًا، في المستقبل. وهذا يجعل الحديث عن الزمن صعبًا بعض الشيء. فعلىٰ سبيل المثال، تشير فكرة مرور الزمن إلىٰ أن الوقت نفسه يتحرك، ولكن هذا لا يبدو منطقيًا.

كان لدىٰ البروفيسور تيم بيدنج -محاضر النسبية الخاصة بجامعة لوقا- إجابة سهلة: الزمن هو ما تقيسه بالساعة.[1] وبالنسبة للفيزيائي، فهذا التعريف التافه علىٰ ما يبدو كافٍ ليجعلنا نبدأ، فهو تعريف إجرائي: حيث يمكننا دراسة العمليات الفيزيائية ومقارنة المعدلات التي تحدث فيها.

ومع ذلك، فيوجد زمن أكثر من فتراته الزمنية التي يمكن أن تُقاس بالساعة، فهناك سهم الزمن. حيث إن تسلسل الحالات الفيزيائية للكون ليس متناظرًا إلىٰ حد كبير، كما سيُظهر أي مقطع فيديو يتم تشغيله في الاتجاه المعاكس، فنجد الزجاج المتساقط يتحطم، إلا أنه لا يصلح نفسه تلقائيًا. وتستخدم الحياة هذا اللاتناظر في العمل والتكاثر والتفكير. فنحن علىٰ سبيل المثال نشَكِلُ ذكريات الماضي، ولكن ليس المستقبل. فأين ينشئ هذا السهم الزمني؟

السهم الإشعاعي للزمن

لنبدأ بما هو مألوف؛ حاسة البصر لدينا مذهلة. مع أننا نادرًا ما نُفكر مليًّا فيها، إلا أنّ الضوء البصري يتدفق باستمرار في عينيك من خلال حدقة العين الداكنة في وسط قزحيات عينك الملونة ممتطيةً الخلايا الحساسة للضوء التي تترجم الصورة إلىٰ إشارات إلكترونية ليتم إرسالها إلىٰ الدماغ.

لابد أن تجد جميعُ الكَاشِفَات حلًا وسطًا بين الخصائص المتنافسة -تتحرك لجان تصميم التلسكوبات الجديدة ببطء وبشكل مؤلم- وعيناك ليست استثناءً. وبسبب الطريقة التي نُسِجَت بها أجهزتها الاستشعارية، فهناك فجوة في شبكية العين حيث أصبحت خالية من خلايا الكشف عن الضوء، وهذه هي البقعة العمياء

(١) كان جيريانت (أحد مؤلفي الكتاب) أحد محاضري النسبية العامة بجامعة لوقا، فقط لتعرف لمن توجه كلمات اللوم.

التي اكتشفها إدمي ماريوت وهي تجربة سهلة يمكنك تجربتها بنفسك - ابحث عن طريقة عملها في جوجل!

لم يلاحظ أحدٌ هذه البقعة العمياء إلا بعد اكتشاف الفجوة في شبكية أعيننا، وبالتالي يقوم دماغك بوظيفة ممتازة حيث يحصل علىٰ معلومات غير كاملة بينما يقدم لوعيك صورة مستمرة وعالية الدقة للعالم من حولك أعيد بناؤها من تريليونات وتريليونات من الفوتونات في نطاق ضيق من الترددات (الصادرة من الجسم المرئي). وفي الواقع، يستطيع بعض أبناء عمومتنا في المملكة الحيوانية أن يروا الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية، مما يكشف عن عالم لا يمكننا رؤيته بدون معدات متخصصة.

وباستصحاب الفتونات ذات الأطوال الموجية المتنوعة، تُغْمَرُ الأرض في جسيمات -إلكترونات وبروتونات ونيوتريونات- منهمرةً من الشمس والكون البعيد. وفي الحقيقة، لو كانت عيناك حساسة للنيوتريونات، فكنت ستتمكن من الرؤية المباشرة لداخل الأرض ووصولًا إلىٰ قلب الشمس ذاتها! ولكن للأسف لا يمكن صُنع «عين» نيوترونية محمولة وفعالة من أي مادة معروفة.

إن الضوء القادم من الشمس يكون بالدرجة الأولىٰ في المدىٰ البصري للأطوال الموجية، والذي يمكن أن يتفاعل بقوة مع الذرات والجزيئات، وتستخدم عيوننا هذا المَنْجَم الثري من الإشعاع الكهرومغناطيسي. فبسبب السرعة المحدودة للضوء، عندما ننظر إلىٰ السماء نرىٰ الصورة التي كانت عليها الشمس قبل ثماني دقائق. وعندما ننظر بعمق في الفضاء، نرىٰ أقرب نجم لنا -رجل القنطور (Alpha Centauri)- علىٰ الهيئة التي كان عليها منذ أربع سوات. وقد بدأ الضوء الذي يصلنا من مجرة المرأة المسلسلة (Andromeda) رحلته منذ أكثر من مليوني سنة، أي قبل أن يتقن أسلافنا عمل النيران، بينما الضوء الذي نراه في الخلفية الكونية من الأمواج المكرويةَ مازال في رحلته هذه منذ ١٣.٨ مليار سنة تقريبًا.

يمكننا أن نفهم كل هذا باستخدام المعادلات الكهرومغناطيسية، ومَعَ ذَلِكَ، فإنّ هذه المعادلات لها خصائص غريبة. خذ أي سيناريو تسمح به تلك المعادلات -مثل الضوء المنبعث من مصباح عاكسًا صورةً بداخل عينك- وطبقه بطريقة عكسية. فهذا السيناريو العكسي لا بأس به تمامًا وفقا للمعادلات؛ فكلاهما ممكن.

ومع ذلك، تعتبر النسخة العكسية لرؤية سماء زرقاء في يوم مشمس غريبة إلىٰ حد ما؛ حيث تثير إشارات من دماغك شبكية عينيك مما يؤدي إلىٰ انبعاث فوتونات من عينيك تسافر للأعلىٰ لتنتشر في الغلاف الجوي العلوي، ثم تتجول عبر الفضاء نحو الشمس، وينضم إليهم موجات كهرمغنطيسية من جميع أنحاء الكون تتدفق مجتمعة نحو اتجاه الشمس. (تخيل حجرًا ألقيّ في بركة، ولكن في الاتجاه العكسي: تتلاقي جميع الموجات الدائرية عند مركزهم إلىٰ أن تَخْرُجَ الحجارة من الماء!)

إننا لا نرىٰ تلك الموجات المتقاربة (converging wave)، ولكن كيف من الممكن أي يكون شكلهم؟ سوف يبدو هذا الأمر وكأنه ضربٌ من الخيال العلمي، إلا أنه يمكن وصف الموجة الكهرومغناطيسية المتقاربة بشكل جيد علىٰ أنها موجة كهرومغناطيسية من المستقبل! حيث إنه إذا كانت هذه هي الطريقة التي تعمل بها الموجات الكهرومغناطيسية، فيجب علينا أن نتساءل لماذا نرصد صورة من الماضي، بينما لا يمكننا أن نرىٰ مثيلتها في المستقبل (أي بالطريقة الانعكاسية).

كيف كان سيبدو الضوء من المستقبل؟ لنفترض أن نجمًا من المستقبل تجول في سماءنا؛ فبالنسبة لنا، لن يسطع ببهاء ساكبًا الإشعاع في الكون، وإنما بالأحرىٰ سيكون مُجَمِّعًا هائل للضوء، حيث يجمع الفوتونات المرسلة في اتجاهه من جميع أنحاء الكون. وسوف ينضم الضوء المنبعث من عينيك إلىٰ جوقةٍ مقتربة من الإشعاع مجبرة علىٰ الدخول في داخل النجم، فتنتشر عبر غاز النجم الساخن وتستخدم طاقته في نهاية المطاف لانقسام الهيليوم إلىٰ هيدروجين.

إنّ العقل البشري شيئًا معقدًا، لذلك فمن الصعب أن نعرف بالضبط كيف كانت ستبدو تجربة الضوء القادم من المستقبل. افترض، بدلا من ذلك، أن هناك كاميرا فيديو مثبتة عند النجم المظلم، فإن الجزء المسجل للضوء المنبعث من النجم سيتم مسحه بشكل مطرد من الشريط وتحويله إلىٰ ضوء وإرساله خارج عدسة الكاميرا. يوحي التفكير قليلًا في العقل البشري أنه يوجد لديك ذاكرة للمستقبل في رأسك، والتي يتم نسيانها عندما تُصدر عينيك هذه الفوتونات المستقبلية. اعطِ لنفسك لحظة للتفكير: هل هناك شيء أنت علىٰ وشك نسيانه، مثل نتائج اليانصيب يوم السبت القادم؟

ولكنك الأن ربما تُفكر في أن هذا أمر كله مثير للاهتمام للغاية، إلا أن سبب عدم تلقينا الضوء من المستقبل يعتبر أمرًا واضحًا، لأن هذا سخيف (أي فذاك مستقبل وهذا حاضر). ولكن، كما ذكرنا، لا يوجد في قوانين الفيزياء ما يمنع من حدوث هذا، ولكي تفسر القوانين تجربتنا في الكون، يجب أن نفهم لماذا لا يحدث الاحتمال الرياضي للضوء القادم من المستقبل في كوننا؟

وهناك أيضًا علاقة معقدة بين المادة والزمن، ففي النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، يشبه الإلكترونُ المُرْسَل إلىٰ الوَرَاء في الزمن شقيقَه من المادة المضادة: البوزيترون (positron)! حيث إنه في الواقع، يمكن لجسيمات المادة المضادة أن تُرْصَد - مثل نظائرها من المادة - وهي تسير للوراء في الزمن.

قد يبدو هذا الأمر كالغرائب الرياضية الطريفة، ولكن ليس الأمر كذلك في نظرةٍ عبقريةٍ لجون أرشيبالد ويلرArchibald Wheeler -أحد عمالقة فيزياء القرن العشرين- فقد روىٰ تلميذه الشهير ريتشارد فاينمان Richard Feynman هذه القصة في محاضرة حصوله علىٰ جائزة نوبل[1]:

تلقيت ذات يوم مكالمة هاتفية في كلية الدراسات العليا في جامعة برينستون من البروفيسور ويلر الذي قال فيها «فاينمان، أنا أعرف لماذا جميع الإلكترونات لها نفس الشحنة والكلتة.» «لماذا؟» «لأنهم جميعًا نفس الإلكترون!»

---

(١) المحاضرة متاحة علىٰ: www.nobelprize.org

وفقًا لتصور ويلر، فهناك إلكترون واحد فقط في الكون يسافر بشراسة إلىٰ الأمام وإلىٰ الوراء في الزمن، فجميع الإلكترونات والبوزيترونات التي نراها من حولنا ما هي إلا صورة لنفس الإلكترون الذي يمر في اللحظة الحالية من الزمن. وبينما أن فكرة ويلر بارعة، إلا أنها تتنبأ بأن عدد الإلكترونات في كوننا هو نفسه عدد البوزيترونات، ولكن الأمر ليس كذلك كما وضحنا في الأعلىٰ.

وبالرغم من ذلك، فإن فكرة ويلر توضح التناظر العكسي للزمن (time-reversal symmetry) في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات؛ حسنا، تقريبا. فكما تستطيع القوة الضعيفة كسر ثنائية التناظر (parity symmetry)، فكذلك يمكنها كسر التناظر العكسي للزمن، ولكنه نادرًا وضعيفًا جدًا. فهذا اللاتناظر الطفيف جدًا في قوانيننا لا يفسر سبب كون حالة كوننا غير متناظرة إلىٰ حد كبير فيما يتعلق بالزمن.

ربما نحن في حاجة إلىٰ توسيع نطاق بحثنا ليشمل الكون ككل.

الزمن الكوني

وفقًا للنموذج القياسي لعلم الكونيات، فإن الوقت (كما نعرفه) قد وُلد في الانفجار الكبير قبل حوالي ١٣.٨ مليار سنة، ويسير إلىٰ المستقبل اللانهائي. ولكن لو أن الوقت يقاس بالساعة، فما الساعة؟

ووفقًا للنظرية أينشتاين للنسبية العامة، يعتبر المكان والزمن مجرد إحداثيات. حيث إن مجموعة الأرقام المعينة التي نخصصها لمكان وزمن في الكون ليست إلا مسألة تيسيرية. فَكِر في إحداثيات علىٰ خريطة لكوكب الأرض - لا يبدو الأمر كما لو أن الصخور والجبال تُصَنِفُهَا خطوط الطول والعرض. ولكن يمكننا تغيير هذا التصنيف ولا يزال بإمكاننا التنقل.

ومع ذلك، فإن اختيار خطوط الطول والعرض ليس أمرًا اعتباطيا تمامًا. فكوكب الأرض يدور وهو كرويّ تقريبًا، ولديه كذلك مركزًا يتوافق مع مركز كل خط دائري من خطوط الطول. فالنقطة التي تلتقي فيها خطوط الطول هي المكان

الذي يمس فيه محور دوران الأرض سطحه - القطبان الجنوبي والشمالي. تلتقي شريحة - عبر سطح الأرض - عند خط العرض الثابت بمحور الدوران في الزوايا اليمنىٰ، فبينما لم تخلق الأرض بعلامات تصنيفية، إلا أنها تحتوي بالفعل علىٰ التناظر؛ سواء في هندستها (كروية) وحركتها (الدوران)، وإحداثياتنا يمكن أن تعكس هذا التناظر.

وكما ذكرنا في الفصل الخامس، الكون هو أيضا متناظرٌ للغاية، فالكون هو نفسه في كل مكان (التجانس) ويبدو متشابه في جميع الاتجاهات (التناحي - تساويٰ الخصائص). وهناك إِحْداثِيّا زمنيا يعكس هذا التناظر وهو ما يعرف باسم الزمن الكوني. فإذا نظرت إلىٰ جميع أجزاء الكون في نفس اللحظة من الزمن الكوني، ستجد أن لديهم جميعًا (في المتوسط) نفس كثافة المادة ونفس درجة حرارة الخلفية الكونية من الأمواج المكروية.

فالساعات (الذرية) التي تسافر جنبا إلىٰ جنب مع توسع الكون تقيس الزمن الكوني. وبهذه الطريقة، يمكننا أن نقول أن الكون يبلغ من العمر ١٣.٨ مليار سنة.

هل توسع الكون فيما يتعلق بالزمن الكوني يفسر تجربتنا للزمن؟ ليس تمامًا ولأسباب تبدو مألوفة.

المشكلة هي أن المعادلات التي تصف توسع الكون ستتيح لنا أيضًا التفكير في الزمن الذي يرجع إلىٰ الوراء، ولو وجدت حلًا لتلك المعادلات وعكست الزمن، فستحصل علىٰ حل صحيح مثله تمامًا. فكوننا -بإنفجاره الكبير في الماضي وتوسعه الأبدي في المستقبل- لديه تناظرًا معكوسًا زمنيًآ، مع ماضي يتقلص إلىٰ ما لا نهاية ومستقبل يتمتع بانهيار هائل.

لذلك، فإن توسع الكون يعرض سهمًا للزمن والذي عنده كان الكون مختلفًا تمامًا في الماضي وسيكون مختلفًا تمامًا في المستقبل. ولكن المعادلات التي تصف التوسع في الفضاء لا تفسر لماذا نرىٰ الانفجار الكبير في ماضينا وليس في مستقبلنا. والمقياس المتغير للكون لا يفسر اتجاه سهم الزمن.

سهم كموميّ للزمن

إذا أخذنا نظرية آينشتاين للنسبية علىٰ ظاهرها، فالكون يشبه الخريطة المرسومة مسبقًا، والزمكان كما هو، ورحلتنا عبر الزمكان تشبه المسار علىٰ الخريطة. وبينما نحن لسنا إلا جزءً من المسار في رحلتنا غير المتوقعة، إن جبال ميستي ونهر براندیواین موجودين بالفعل وفي انتظارنا، إذا جاز التعبير. وطبقًا لهذا الرأي، فما سيحدث غدًا يعتبر أمرًا حقيقيًا الآن.

ومع ذلك، فإن تجربتنا في الكون توحي أن المستقبل مفتوح وقابل للتأثير فيه بطريقة أو بأخرىٰ بأعمالنا. فكيف لاختياراتنا أن تأثر علىٰ المستقبل لو أنّ كل ما نقوم به ليس إلا اتباع مسار علىٰ الأرض موجود مسبقًا؟ الحل، كما يقترحه البعض، هو أن خريطة المستقبل لم تُرْسَم بعد وإنما تُبْسَط باستمرار أمامنا. إن الماضي ثابت ويمكن معرفته - علىٰ عكس المستقبل فهو مفتوح ولا يمكن التنبؤ به. وفي مثل هذه الصورة، يصبح من الواضح لماذا لا يمكننا أن نحصل علىٰ الفوتونات والمادة من المستقبل، لأن المستقبل ليس موجودًا بعد!

تعتير لاحتمية ميكانيكا الكم ذات صلة وثيقة هنا، ففي بعض تفسيرات النظرية، لا يمكن أن تُحَدِدُ حالةُ العالم في أي وقت معين حالتَه في وقت ما في المستقبل. فقد تتعرض النواة المشعة التي ننشئها في المختبر اليوم إلىٰ الانحلال غدًا - أو بعد غدٍ - وليس هناك شيئًا سواء من القوانين، أو النواة، أو حتىٰ الكون بأكمله يمكنه أن يقول متىٰ سيحدث هذا الانحلال. فلا توجد اليوم حقيقة حول ما إذا كانت النواة ستضمحل غدًا أم لا، وإنما هناك فقط احتمالات، إلا أن المستقبل مازال قصة لم تتم كتابتها بعد.

تكمن المشكلة في أن التفسيرات غير الحتمية الأكثر شهرة لميكانيكا الكم هي -كما النظريات الفيزيائية- غير مكتملة. إنّ الجزء الخاص في التفسير بعدم تناظر الزمن يعتبر هو المكان الذي يتم فيه إجراء القياس؛ الأمر الذي يفرض علىٰ النظام الكمومي الاختيار بين حالته الممكنة (المتراكبة). لكن هذا يضع علماء الفيزياء وأجهزتهم فوق قواعد ميكانيكا الكم تاركين فجوة كبيرة في النظرية.

وإذا وضعنا مسألة القياس جانبًا، فإن القانون الرئيسي لميكانيكا الكم -معادلة شرودنجر- يعتبر انعكاسًا زمنيًا متناظرًا. فكما أشرنا من قبل، لا تُظهِر القوانين الكمومية الأساسية للمادة والإشعاع أيَّ إشارة إلىٰ عدم تناظر الزمن الذي نراه في الكون ككل. فإذا لم يكن هناك سهمًا للزمن في القوانين التي تحكم المواد الأساسية للكون، فأين هو؟

الزمن الديناميكي الحراري

لا توجد كذلك سوائل في المادة الأساسية للكون، فالرياح التي تهب عبر الأشجار هي نتيجة لتريليونات وتريليونات من الجسيمات التي تعمل معًا علىٰ التدفق والضغط والتوسيع والدوران والموجة وغيرها الكثير. وتنشأ خواص السوائل عندما تعمل الكثير من الجزيئات مع بعضهما البعض؛ ولعل سهم الزمن هو ظاهرة ناشئة كذلك.

وعلىٰ وجه الخصوص، فقد ذكرنا بالفعل الارتباط الهام بين الديناميكا الحرارية والزمن. فإذا أسقطت فنجان قهوة من علىٰ طاولة، فإنه يقع علىٰ الأرض ويتحطم إلىٰ أجزاء ساكبًا المشروب اللذيذ الذي كان يحويه. ولكن من الناحية الأخرىٰ، إذا رغبت في احتساء مشروب ساخن، ففكرة أن تُفرق شظايا الفنجان المهشم والقهوة الفاترة علىٰ الأرض وتنتظر أن يجتمعوا ثم يصبح الكوب ساخنا ثم يقفز مرة أخرىٰ علىٰ الطاولة تعتبر فكرة سيئة، فلم يسبق لك أن رأيت ذلك يحدث في الحياة الواقعية، ومع ذلك فهي نسخة الانعكاس الزمني لفنجان القهوة المهشم.

كل هذا واضح إلىٰ حد ما، ومع ذلك فلا تحتوي المعادلات الأساسية للفيزياء علىٰ سهم للزمن! ويتماشىٰ سيناريو إعادة التجميع السحري لفنجان القهوة بدقة مع معادلاتنا تمامًا مثل كل كسر حدث بالخطاء رأيته في حياتك. وحتىٰ بعد أن تحطم الفنجان ورُشت محتوياته في كل مكان، فلو استطعنا إيقاف الزمن وعكس اتجاهات جميع سرعات الجسيمات، فمن المفترض أن نرىٰ القهوة تلملم شملها في طريقها إلىٰ الفنجان ثم علىٰ الطاولة، ولا سيما حينما تتلاقىٰ الموجات

الصوتية في الهواء المحيط لتعمل علىٰ إعادة تجميع الأجزاء في المكان المناسب وبتوفر الطاقة المناسبة لالتحام تلك القطع الممزقة مرة أخرىٰ.

هنا نستطيع رؤية عدم التناظر، حيث ستؤدي أي دفعة قديمة (أي في أي وقت مضىٰ) إلىٰ تحطيم الفنجان علىٰ الأرض، بينما يتطلب إعادة تجميع الفنجان تنسيقًا دقيقًا بشكل مستحيل بين كل ذرة وجزيء خاص بالفنجان والقهوة والهواء والأرض.

إذا كنت تعيرنا انتباهك إلىٰ الآن، فبعض هذا الأمر يشبه كثيرًا نقاشنا حول الانتروبيا في الفصل الرابع حيث تنتقل الأشياء بتعبير عامي من النظام إلىٰ الفوضىٰ، وفهمك هذا صحيحًا، فسهم الزمن للديناميكي الحراري يشير إلىٰ التزايد في الانتروبيا.

لدينا إذًا ما يبدو وكأنه تفسير أنيق لسهم الزمن، فأي سقوط في الماضي يكسر الفنجان ولكن فقط مجموعة غير محتملة علىٰ الإطلاق من الصُدف يمكنها أن تعيد تشكيل الفنجان. لذلك نحن -مع مرور الزمن- نعتاد رؤية كسر الفناجين ولكن ليس تجميعها بشكل تلقائي. ويمكننا أن نصيغ حجة مشابهة للعمليات الأخرىٰ التي تزيد من الانتروبيا: أي مجموعة قديمة من الاصطدامات الحرارية بين الجزيئات ستُذَوِّبُ الثلج في مشروبك، إلا أن الأمر سيستلزم مجموعة خاصة (وغير محتملة علىٰ الإطلاق) من الملابسات لكي يتحول المشروب مجددًا إلىٰ الماء الفاتر (الدافئ) والثلج. والنجوم هي المُوَلِّد للانتروبيا في الكون، لذلك فإن النجم «من المستقبل» سيتطلب مجموعة غير متناظرة وغير محتملة من الصدف، فيظهر التناقض الكمي -الذي عرجنا عليه مسبقًا في هذا الفصل- في كيف أنّ القياس الكمي يمكن أن يرتبط بزيادة الانتروبيا كلما تفاعل النظام مع بيئته الكبيرة الفوضوية.

ومع ذلك، فهناك نهايات غير مكتملة؛ أولًا، لماذا يشير سهم الزمن الخاص بك إلىٰ ازدياد في الانتروبيا؟ وهذا هو السبب وراء تذكرنا للماضي الذي تَقِل فيه الانتروبيا وليس المستقبل الذي تزيد فيه الانتروبيا؟

تأتي مفاتيح الحل المهمة عند التفكير في أجهزة الحاسوب - لأن تشغيل برنامج حاسوبي يزيد من الانتروبيا. فعلىٰ وجه الخصوص، تيعتبر تخزين المعلومات علىٰ ذاكرة الحاسوب أمرًا غير قابل للانعكاس[1] لأن الحاسوب يستبدل ويمحو المعلومات. (كما خمنت، قد تم حفظ هذا الملف وعمل نسخة احتياطية منه بمجرد كتابة هذه الجملة.)

وبالتالي، فإذا كانت الذاكرة المادية للمخ تعمل بنفس طريقة الحاسوب، فيمكنها فقط تكوين ذكريات الماضي، أي في الوقت الذي كانت فيه إنتروبيا الكون أقل. وعليه، فهذا سبب وجيه للاعتقاد بأن أي شكل من أشكال الحياة المُعَالِجَة للمعلومات ستُجَرِب سهم الزمن الميكانيكي الحراري وستتذكر دائمًا الماضي الديناميكي الحراري وليس المستقبل.

والنهاية غير المكتملة الثانية تعتبر أكثر إثارةً للقلق. يبدو أننا بيَّنا سهم الزمن في الديناميكا الحرارية، ولكن أين ذهب التناظر العكسي للزمن الخاص بالقوانين الأساسية؟ كيف اخترنا اتجاها زمنيا خاصًا بينما لا تختاره القوانين ذاتها؟

المشكلة هي أننا لم نفعل ذلك أيضًا. لنفترض أننا في الساعة ١٠ صباحًا أعددنا لأنفسنا كوبًا من الماء به بعض مكعبات الثلج، وفي الساعة ١٠:١٥ صذابت تلك المكعبات جزئيًا، وبحلول الساعة ١٠:٣٠ ص، لم يكن لدينا سوىٰ كوب فاتر من الماء. دعونا ننظر عن كثب إلىٰ الكوب والثلج بحلول الساعة ١٠:١٥ ص؛ عند الأخذ في اعتبارنا النظام والانترويا، سنفترض بشكل صحيح أن الشيء الأكثر احتمالية للحدوث بعد ذلك هو أن الثلج سيستمر في الذوبان حتىٰ تصل كل جزيئات الماء في النهاية إلىٰ درجة حرارة الغرفة.

---

(١) هذه النتيجة لها علاقة بمبدأ لانداور والذي يقوم علىٰ أن برامج الحاسوب تُحول الحالة الأولىٰ إلىٰ حالة نهائية وفريدة من نوعها: بافتراض ٤ + ٢، يمكن إعطاء أوامر للبرنامج بجمع هذه الأرقام ليعطينا ٦. ولكن رؤية النتيجة فقط لا تتيح لنا استنتاج الأرقام التي تم جمعها بشكل فريد، حيث إن تلك المعلومات قد تم مسحها من ذاكرة الكمبيوتر وهذه العملية لا رجعة فيها. وبالتالي فأي إجراء مادي للبرنامج يجب أن يزيد من الانتروبيا. ببساطة، تصبح أجهزة الحاسوب ساخنة لحاجتها للنسيان.

المشكلة هي أننا وصلنا إلىٰ نفس الاستنتاج بشأن الكوب الزجاجي في الساعة ١٠ صباحًا، لأن القوانين الأساسية ذات تناظرًا معكوسًا للزمن. وبدءًا من الساعة ١٠:١٥ صباحًا والتنبؤ العكسي فإن أكثر الأشياء احتمالية للحدوث في تمام الساعة ١٠ صباحًا - قبل أن يذوب نصف كتلة الثلج - هو أن يصبح الكوب أيضًا بنفس درجة حرارة الغرفة. وهذا المنطق لا تشوبه شائبة - فحالات الانتروبيا المنخفضة مستبعدة أكثر. ولذلك، فتفسير الثلج نصف المُذاب لاعتبار الثلج غير المذاب يعتبر كتفسير ما هو ما هو مستبعد من خلال الاعتماد علىٰ ما هو أكثر استبعادًا.

انتظر، أنت تعتقد أني أتذكر الثلج غير المذاب عند الساعة ١٠ ص، وحتىٰ هذا الأمر لا يهم: ذاكرتك هي حالة مادية أخرىٰ، ولذا لا ينبغي تفسيرها بمثل هذه الإسراف المذهل علىٰ أنها حالة أقل من إنتروبيا.

وهكذا، يرغب التناظر العكسي للزمن في الانتقام! فبافتراض أي حالة منخفضة للانتروبيا في الحاضر -ووفقًا لنفس المنطق الذي أدىٰ بنا إلىٰ التنبؤ بشكل صحيح بأن المستقبل سوف يشهد فوضىٰ متزايدة- فإننا ستوقع أن الماضي فوضوي علىٰ نحو مماثل، وهذا الأمر يدخل في صراع عنيف مع كل ذاكراتنا، بما في ذلك سجلاتنا لجميع التجارب التي تعلمنا منها قوانين الديناميكا الحرارية!

ومن المفترض أن الفيزيائي نيلز بور كان مولعًا بالمزاح حين قال إنه من الصعب وضع تنبؤات خاصة فيما يتعلق بالمستقبل؛ ولكن عندما يتعلق الأمر بفهم إحصائي للديناميكا الحرارية، فإن العكس هو الصحيح: فتنبؤاتنا للمستقبل تعتبر ناجحة تمامًا بينما تنبؤاتنا للماضي تعتبر فشل فادح.

لابد أن نتخلىٰ عن شيء منهم. تَذَكَر مناقشة الطاقة الحرة في الفصل الرابع، فزيادة الانتروبيا في الكون تشير إلىٰ بداية منخفضة للغاية في الانتروبيا. وقد وُلِدَ عالمنا بوفرة من الطاقة المجانية، مع إمكانية القيام بالعديد من العمليات التي أدت إلىٰ وجودنا في النهاية.

وهذا يشير إلىٰ حل لهذا اللغز، وهو ما يعرف بفرضية الماضي (Past Hypothesis). نحن ببساطة نفترض أن الكون بدأ في حالة منخفضة من الانتروبيا، ويجب أن ينطلق تفكيرنا بشأن كل الحالات المحتملة وغير المحتملة من هذه الافتراض. فبدلًا من العثور علىٰ سهم الزمن في قوانين الطبيعة نفسها، فنحن نجده في الحالة الأولية الإستثنائية للكون. فالأنتروبيا ستزداد بمرور الوقت في اتجاه واحد لأن هذه العمليات هي الأكثر احتمالية، ولكن لن تزيد الانتروبيا بطريقة مشابهة في الاتجاه المعاكس من الزمن لأنه ليس هناك زمن معاكس منذ البداية.

أليس هذا مجرد غش؟ بعد كل ذلك، فمن المفترض أن حالات الانتروبيا المنخفضة تُفْصِح بشكل بسيط جدًا وغير مُرجح أن الكون بدأ بحالة منخفضة للغاية من الانتروبيا، وهذا يُمَثل مشكلةً أخرىٰ وليس حلًا.

ولكن لو فكرت مليًّا بشكل أعمق في الطريقة التي توصلنا بها إلىٰ استنتاج أن الحالات المنخفضة من الانتروبيا تعتبر غير مرجحة؛ فلكي تُحَول حالة من الانتروبيا المنخفضة (مثال الفنجان غير المُهشَم علىٰ الطاولة) إلىٰ حالة عالية من الانتروبيا (مثال الفنجان محطم علىٰ الأرض) يتطلب الأمر دفعة تُحْدِث تغير نوعي، بينما يتطلب التحول العكسي (أيّ من حالة عالية الانتروبيا إلىٰ أخرىٰ منخفضة) حيلةً مستحيلة من الناحية العملية للحركة الجزيئية الدقيقة. إذًا ما ينبغي أن نقوله حقًا هو: من غير المحتمل أن تُنْتَج حالات الانتروبيا المنخفضة من حالات الانتروبيا العالية.

ويترتب علىٰ ذلك أن فرضية الماضي ليست غير محتملة طبقًا لهذه الأسس، نظرًا لأن حالة الانتروبيا المنخفضة الأولىٰ لم تُنْتَج من حالة عالية من الانتروبيا. فيجب أن تؤخذ فرضية الماضي كمسلمة قبل إصدار أي أحكام حول الحالات المحتملة وغير مرجحة.

ومع ذلك، كل هذا يتركنا مع استنتاج مضطرب، فطبقًا لما تعلمناه، يبدو أن مرور الوقت وكيفية إدراكنا وتجربتنا نتيجةً للحالة الأولية الإستثنائية للكون.

فلماذا نشأ الكون في مثل هذه الحالة من الانخفاض في الانتروبيا عندما كان من الممكن أن ينشأ الكون بكل الطاقة المتاحة والمحبوسة في الثقوب السوداء التي تتمتع بنسبة عالية من الانتروبيا، هذا الأمر مازال لغزًا. فبداية الكون بنسبة عالية من الانتروبيا من شأنه أن تترك القليل جدًا -أو لاشيء- من الطاقة المجانية اللازمة للأيض أو التكاثر أو معالجة المعلومات أو تكوين الذاكرة أو أي من الأنشطة التي نسميها نحن الحياة. وتوضح مناقشتنا في الجزء التالي عمق هذا اللغز المتشابك كما هو الحال مع طبيعة الزمن نفسه.[1]

واحد أم اثنان أم كثيرون؟

المكان -مثله مثل الزمن- يعتبر واحدًا من الأشياء التي غالبا ما نعتبرها أمرا مفروغا منه. فنحن لدينا ثلاثة أبعاد نعيش ونسافر فيها، وبُعد زمني واحد يُذهب ساعات أيامنا المزدحمة بسرعة. كما هو متوقع، فسوف نطرح السؤال التالي: ما هو الشيء المُمَيَز بشأن ثلاثة أبعاد (للمكان) وواحد (للزمن)؟

فهل كانت الحياة ستوجد في الكون لو أن هناك بُعدين فقط للمكان، أو ربما حتىٰ واحدًا؟ ماذا لو نظرنا إلىٰ الناحية الأخرىٰ حيث لو كان لدينا خمسمائة بعد للمكان؟

بينما نُفكر في الفرق بين ورقة ثنائية الأبعاد وكتلة خشبية ثلاثية الأبعاد ربما يساعدنا في فهم بضعة أبعاد إضافية للمكان، فماذا عن الأبعاد الإضافية للزمن؟ هذا يبدو وكأنه خيال علمي، إلا أنه من الناحية الرياضية يعتبر من السهل إضافة بعض الأبعاد الزمنية الإضافية للفيزياء. وأنا متأكد أن جميعنا يرغب في بضعة

---

(١) يعتبر كتاب ديفيد ألبرت «الزمن والصدفة» (Time and Chance) المنشور عام ٢٠٠٤ دفاعًا مؤثرًا ويمكن الوصول إليه فيما يتعلق بفرضية الماضي. ويمكنك أيضًا مراجعة كتاب سين كارول «من الأزل إلىٰ هنا» (From Eternity to Here) المنشور في عام ٢٠١٠ وما نشره ونسبرج في عام ٢٠١٢. ومن الأمور التي يهتم بها المدافعون عن فرضية الماضي بشكل خاص هو التقدم السريع في في قبول نظرية بيسيان في العلوم الفيزيائية والتي تنظر إلىٰ الاحتمال علىٰ أنه عدم يقين كمّي. سنناقش البيسيانية في الفصل السابع ولكن تذكر أن هذا سيوفر قياس احتمالي أكثر من فرضية الماضي.

أبعاد زمنية إضافية مما يمكننا من استعارته عند حلول الموعد النهائي (لتسليم مشروع معين) والعودة مجددًا إلىٰ المكان الأولي مع وقت كافٍ لإقناع المدير. ولكن هل ستكون هذه الأكوان متناغمة مع الحياة؟

نستطيع أن نعيد صياغة قوانين الفيزياء إلىٰ شكل يمكنه التعامل مع أعداد مختلفة من الأبعاد، ولكن النتائج ليست جيدة، حيث تحدث أشياء غريبة عندما تبدأ باللعب في عدد الأبعاد، وهي أشياء ليس من الضروري توقعها.

لنأخذ مثالًا بسيطًا: قانون نيوتن للجاذبية. قوة الجاذبية هي المسؤولة عن الحفاظ علىٰ الأرض والكواكب الأخرىٰ والمذنبات والكويكبات في دورانها المنتظم حول الشمس. وأعطانا نيوتن وصفًا رياضيًا دقيقًا لهذه القوة بين جسمين، بحيث يكون متناسبا مع ناتج الكُتَل ويتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بينهما.

وفي عالمنا ثلاثي الأبعاد، تسقط قوة الجاذبية كمربع المسافة، وتتناقص قوة الجاذبية عندما تنتشر علىٰ مساحات أكبر وأكبر، وبنفس الطريقة التي يبدو بها الضوء خافتًا كلما انتقل ليغطي مسافة أكبر.

يمكننا كتابة معادلة نيوتن بطريقة تسمح لنا بتغيير عدد أبعاد المكان[1]، دعنا الآن نزِيد من عدد الأبعاد المكانية من ثلاثة أبعاد إلىٰ أربعة؛ فمع زيادة بُعدًا واحدًا فقط، ستنخفض قوة الجاذبية مثل المكعب العكسي للمسافة. والنتيجة هي الفوضىٰ!

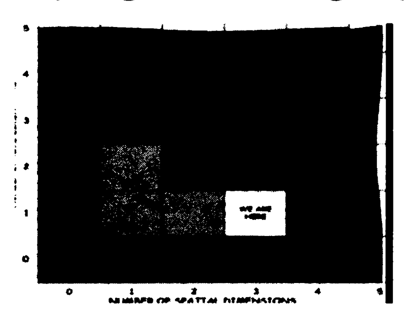
لا يمكن أن تكون مدارات الكواكب في مثل هذا الكون دائرية تقريبًا، بل يجب أن تكون دائرية تمامًا، حيث إنّ أقل انحراف عن الضبط الكامل أو الاضطراب من قِبَلِ كوكب قريب من شأنه أن يقذف بالأرضِ بالأعلىٰ إلىٰ داخل الشمس أو تجعله يتسابق بعيدا في الفضاء الفارغ، وبالتالي فنحن إما أن نحترق أو نتجمد.

---

(١) وهذا هي معادلة بواسون، أو -من أجل علامات إضافية- اسْتَخْدِم معادلات آينشتاين للنسبية العامة لاشتقاق مقياس شوارزشيلد في أبعاد N.

وينتظر الإلكترونات التي تدور في الذرات مصيرًا مماثلًا، ففي كون ذو أبعاد مكانية أكثر لن يكون هناك حالة أرضية (ذرية). أي أنه لا يوجد أدنىٰ مدار للطاقة والذي لا يمكن للإلكترون أن يسقط تحته، فستنزلق الإلكترونات في النواة ووداعًا للذرات والكيمياء!

نوضح في الشكل ٣٦ الاحتمالات الممكنة لأعداد مختلفة من أبعاد المكان والزمن. «نحن هنا» في ثلاث أبعاد للمكان بالإضافة إلىٰ بُعْدٌ واحدٌ للزمن، وهناك أكوان علىٰ يميننا -تتمتع بأبعاد مكانية أكثر- غير مستقرة سواء في جاذبيتها وذراتها. دعونا نلقي نظرة علىٰ بقية مواقعنا علىٰ الخريطة.



شكل ٣٦: إن تغيير عدد الأبعاد المكانية والزمنية في الكون له تأثير كبير علىٰ أساسيات الفيزياء الحالية، وبالتالي إمكانية الحياة. (بناءً علىٰ ما قاله تيجمارك في دراسته عام ١٩٩٧)

ماذا لو أزلنا بُعدًا مكانيًا؟ قد أُخذت الحياة في الاعتبار في مثل هذا العالم الثنائي الأبعاد، إلا أنه تظهر عدة مشاكل علىٰ الفور. فإن الكائنات ثلاثية الأبعاد مثلنا لها طوبولوجيا (أيّ الخصائص الهيكلية التي لا تتأثر بتغير الحجم أو الشكل) الحيد (التخت)[١] -شكل جسم أساسي للعديد من الحيوانات- مع امتداد الفتحة من الفم إلىٰ النهاية الأخرىٰ (لخروج الطعام بعد هضمه). بينما الكائن ثنائي الأبعاد الذي يتضمن قناة هضمية سينقسم إلىٰ قطعتين منفصلتين. فلا يمكن

(١) غالبًا ما يُذكر أن الكعك هو مثال لطيف علىٰ الحيد، باستثناء للشعب البريطاني الذي يعتبر الكعك الخاص به دائري ممرود قليلًا ومحشي بالمربىٰ والقشطة. لذيذ.

للخطوط عبور بُعدين دون تقاطع، وهذا هو السبب في أن حركة المرور علىٰ سطح الأرض تعتبر كابوسًا. وهناك حلولًا للتغلب علىٰ هذا الأمر؛ يمكننا أن نسمح للكائنات ثنائية الأبعاد بتغليف الطعام وهضمه مثل المخلوق في الفيلم الرائع في الخمسينيات من القرن الماضي «الفقعة» (The Blob) - أو الآخر الذي ليس بالرائع جدًا في الثمانينات.

لكن لدينا ما يدعو للقلق أكثر مما إذا كان ثنائي الأبعاد من أبناء عمومتنا سيمكنهم تناول الطعام؛ ففي النظرية النسبية العامة، يمكن فقط لمجالات الجاذبية أن تُوجَد في الفضاء الفارغ عند وجود ثلاثة أبعاد مكانية أو أكثر. وهذا يعني أن الجاذبية في الأكوان ثنائية الأبعاد لا يمكنها أن تمسك بالكواكب في مدار مستقر حول نجمٍ. ومن غير المحتمل في الحقيقة أن تتشكل النجوم والكواكب في المقام الأول إذاً لم تتمكن الجاذبية من جمع المواد معًا من أنحاء الفضاء الفارغ. مثل هذه الأكوان ستكون أماكن بسيطة ومُعَقَمَة (أي وبالتالي لن تسمح بوجود الحياة).

لقد ناقشنا حتىٰ الآن الخط الأفقي للبقعة التي «نعيش عليها.» فماذا لو غيرنا عدد أبعاد الزمن؟

كيف كان سيبدو هذا الكون؟ ستستمر دقات الساعات وبالتالي سيشهد شكل من أشكال الحياة أحداث الزمكان في تسلسل أحادي الأبعاد، ويمكننا أن نتفق علىٰ سهم للزمن من أجل ضمان تسجيل هذه الأحداث بالطريقة المألوفة، مما يخلق سلسلة من الذكريات أحادية الأبعاد.

ولكن يأتي الاختلاف في تأثير هذه الأبعاد علىٰ معادلات الفيزياء. فعلىٰ سبيل المثال، هناك معادلة في الفيزياء تصف الموجات، سواء علىٰ وترٍ (أحادي الأبعاد)، أو علىٰ سطح الماء (ثنائي الأبعاد)، أو عبر الهواء (ثلاثي الأبعاد)؛ تطلق عليها -بشكل مناسب بما فيه الكفاية- معادلة الموجة، وبجانب إضافة أبعاد مكانية إلىٰ معادلاتنا -بما في ذلك معادلة الموجة- فيمكننا إضافة أبعاد زمنية ونرىٰ ما سيحدث.

في أبعادنا المألوفة ٣ + ١، نعتمد علىٰ المعلومات التي تم جمعها من محيطنا لتوجيه سلوكنا. فنحن نرىٰ أنه لا توجد سيارات تقترب علىٰ الفور وبالتالي دفعها في وسط الزحام المروري. ويمكن للطائر أن يحكم علىٰ مسار رحلة الحشرة للاستحواذ علىٰ عشاءه. هذا أمرٌ غريزي لدرجة أننا بالكاد ما نُفكر فيه علىٰ أنه تنبؤ، لكن هذا هو ما عليه الأمر. وفيما يتعلق بأبعاد المكان والزمن، فنحن نستخدم المعلومات التي يتم جمعها من المكان والزمن للتنبؤ بما سيكون عليه العالم في المستقبل.

بيد أنه مع الأبعاد الزمنية الإضافية، يجب أن نميز بين الزمن (أو التوقيت) المحلي علىٰ ساعتنا (أحادي الأبعاد) وأبعاد الزمن أو التوقيت العالمي (صفر أو أكثر). لنفترض مثلًا أن وقتنا المحلي يتساوىٰ مع أحد أبعاد التوقيت العالمي، فلكي نتنبأ بما سيحدث بعد خمس ثوانٍ في المستقبل (علىٰ ساعتنا)، يجب علينا جمع المعلومات عبر منطقة المكان والزمن (العالمي).

تكمن المشكلة فيما إذا لم تتمكن من قياس محيطك بدقة تامة، فإن توقعك للمستقبل سيكون عديم الجدوىٰ. إن جمع (أو طرح - هو سيئ أيضًا في الأبعاد الزمنية الصفرية) الأبعاد الزمنية يعني أنه علىٰ الرغم من أن العالم من حولنا سيُطِيع معادلة بسيطة، إلا أنه لن يكون من الممكن عمليا التنبؤ بها. فرَصْدنا للكون من حولنا لن يعطينا أي معلومات حول كيف سيكون العالم، فالعالم قد يكون أيضًا فوضويًا تماما ومن غير المحتمل وجود نظام علىٰ الإطلاق لمعالجة المعلومات.[1]

وبالتالي، لو كان كوننا قد نشأ بعدد مختلف من الأبعاد المكانية والزمنية عن الأبعاد الثلاثة (المكانية) بجانب البُعد (الزمني) للكون الذي نعيش فيه حاليًا، لكان احتمال الحياة المعقدة الناشئة قد تقلص بشدة إن لم يكن مستحيلًا تمامًا. هذه طريقة أخرىٰ تُظْهِر الضبط الدقيق لكوننا ليسمح بوجود الحياة.

---

(١) هل تستمتع بقراءة المعادلات المختلفة جزئيًا؟ فلماذا لا تقرأ بحث تجمارك في عام (١٩٩٧) لدراسة أكمل عن الجوانب الرياضية خلف هذه الحجج!

ومع ذلك، يمكن أن نجد هذا الضبط الدقيق في النظرية الظنية للفيزياء الأساسية وهو ما يُعرف باسم نظرية الأوتار. وفقًا لهذه النظرية، لو نظرنا عن كَثبٍ إلىٰ الجزيئات فسنرىٰ أنها عبارة عن أوتار صغيرة جدًا تهتز في أحد عشر بُعدًا، ولتوضيح السبب وراء رصدنا فقط لثلاثة أبعاد مكانية وبُعد واحد زمني، يفترض منظري الأوتار أن تكون الأبعاد الأخرىٰ ملتوية أو مضغوطة.

وبشكل أكثر وضوحًا، تُشير الأبعاد المضبوطة بدقة التي ناقشناها سابقًا (في الشكل ٣٦) إلىٰ أبعاد كبيرة أو مجهرية (تُرىٰ بالعين المُجردة). فقد يكون للكون أبعادًا أكثر بشكل أساسي، كما تقول نظرية الأوتار، أو حتىٰ أبعادًا أقل -كما في بعض نظريات الكمومية للجاذبية- ولا يوجد بُعد للزمن علىٰ الإطلاق وإنما يجب أن يكون الزمن خرج بطريقة ما من شيء أكثر جوهرية. ولكي نصِف كوكبنا، يجب أن يكون لمثل هذه النظريات طريقة ما لإنتاج ٣+١ أبعاد كلاسيكية ومجهرية للزمكان، ويجب أن تكون أبعاد الزمكان المُقاسة علىٰ ميزان الذرات والكواكب مضبوطة ضبطًا دقيقًا للأسباب التي أوضحناها.

ومع ذلك، فقد تُرِكْنَا مرة أخرىٰ مع سؤالٍ مزعج؛ لنفترض أن نظرية الأوتار صحيحة: هل كانت العملية التي أدت إلىٰ أبعاد ماكروية ٣+١ مضطرة لاختيار هذه المجموعة بالضبط؟ أم أنه كان في ذلك عنصرًا للصدفة؟ هل يمكن أن تكون قد نشأت مع عدد مختلف ومزيج من المكان والزمن؟

لا تخبرنا نظرية الأوتار شيء فيما يتعلق بهذا الأمر، فبعد ما يقرب من أربعين عامًا من البحث العلمي والرياضي، تعتبر نظرية الأوتار نظريةً غير مكتملة (وصعبة بشكل سيء). إلا أنه يمكن أن تكون رمية حجر النرد الكونية قد قررت البعد المكاني، فلو أن حجر النرد قد تدحرجت لعدد مرات كافي، فلابد من وجود عالم ثلاثي الأبعاد في مكان ما. ولكننا نُحقق تقدمًا علىٰ أنفسنا - سنعود إلىٰ نظرية الأوتار ونظرية الضغط (للأبعاد) ونظرية الأكوان الأخرىٰ في الفصل الثامن.

الفضاءات الرياضية

قُبيّل بداية هذا الفصل، ناقشنا أهمية التناظر المنطوي في القوانين الرياضية والفيزيائية. ولعل من المدهش أن العالم الكمومي للإلكترون والفوتون والزمكان المنحني والمتوسع للكون بأسره موصوفين بلغة رياضية أساسية موحدة. وهذه اللغة قد اكتشفت عندما كان العالم الفرنسي في القرن السابع عشر «بيير دي فيرما» يفكر بشأن موضوع الضوء.

عندما نسمع لأول مرة عن الضوء في فصل العلوم في مدرستنا، نتعلم أنه ينتقل في خطوط مستقيمة في الفضاء الفارغ وسيعكس المرآة. لكن تخيل أنك تحدق النظر إلىٰ صورة لهب خافق في مرآة، فما هو المسار الذي ينقل الضوء من اللهب إلىٰ المرآة ثم إلىٰ عينيك؟

كانت إجابة فيرما أن الضوء يأخذ المسار الذي يستغرق أقل زمن بين اللهب والمرآة والعين، لأن الضوء ينتقل بسرعة ثابتة عبر الهواء، فهذا هو أقصر مسار من حيث المسافة بينما جميع المسارات الممكنة الأخرىٰ أطول. يُظهر «مبدأ الأقل زمنًا» الذي قدمه فيرما قوته الحقيقية عندما يتم تطبيقه ليس فقط علىٰ انعكاسات الضوء وإنما أيضًا علىٰ جميع رحلات الضوء.

يصبح مسار الضوء منحنيًا عندما ينتقل من الهواء إلىٰ داخل الماء. يصف قانون سنيل هذا التأثير - علىٰ الرغم من أنه كان معروفًا لفترة طويلة قبل أن يُوَضَحَ من قِبَل من سُمي علىٰ اسمه وهو عالم الفلك في القرن السابع عشر «ويلبرورد سنيليوس». ويعتبر هذا الانحناء نتيجة لتحرك الضوء ببطء أكثر في الماء، وعندما نفكر في كل المسارات الممكنة لانتقال الضوء من مصدر أعلىٰ الماء إلىٰ عين الراصد تحته، فيكون المسار الفعلي هو الأسرع.

ومنذ فيرما، أصبحت فكرة «المسار الأقل زمنًا» هي الأساسية، ليس فقط لحركة الضوء، ولكن أيضًا لكل الفيزياء. وعندما نفحص الإطار الرياضي لأركان العلم الحديث، سواء كانت الكهرومغناطيسية أو ميكانيكا الكم أو نظرية أينشتاين للنسبية العامة، فإننا نرىٰ استخدام مبدأ عامًا إلا أنه مشابهًا لـ «مبدأ الفعل الأقل».

في هذه الحالة، لا يشير الفعل إلىٰ الاستمتاع الدائم التي يشتهر به الفيزيائيون، ولكنه يشير إلىٰ كمية رياضية تلخص قوانين الطبيعة بإيجاز ولكن بطريقة قوية.

يقابل طالب الفيزياء في الجامعة «مبدأ الفعل الأقل» في مقاربات لاغرانج وهاملتون للميكانيكا الكلاسيكية.[(١)] والتناظرات التي ناقشناها سابقًا -والتي تستلزم قوانين حفظ الكون- مفيدة للغاية في هذه الأنظمة الرياضية (الشكل ٣٧).

ومن المثير للاهتمام، تضمن الآراء المختلفة تمامًا عن الكون -الموجودة في فيزياء نيوتن، وكهرومغناطيسية ماكسويل، وميكانيكا الكم، ونسبية أينشتاين- جوهرًا مشتركًا؛ فكلهم يتلخصون في مبدأ الفعل الأقل. وعلىٰ المستوىٰ الأساسي، يبدو أن القواعد الفيزيائية التي تتحكم في عمل الكون مبنية علىٰ نفس الأساس الرياضي. ولكن لماذا؟

$$S = \int L\, dt$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$$

شكل ٣٧: هو معادلة الفعل ومعادلة أويلر لاغرانج Lagrange equation-Euler، وهما حقًا المعادلات المركزية للفيزياء الحديثة واللذان يظهران في كلٍ من النسبية وميكانيكا الكم، ومحاولاتنا هنا هي لسد الفجوة بينهما.

وفي النهاية، نحن لا نعرف. لقد وصلنا إلىٰ سؤال «لماذا؟» وهو من الأسئلة التي تعجز الفيزياء عن الإجابة عنها. هل كان من الممكن أن ينشأ الكون بقلب رياضياتي مختلف؟ ولو أن ذلك ممكنا، ماذا كان سيبدو عليه؟

---

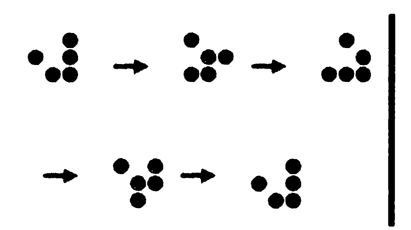
(١) نوصي بشدة بكتاب سوسكند هرايوفسكي بعنوان "Classical Mechanics: The Theoretical Minimum" المنشور عام (٢٠٠٤) لأي شخص يرغب في أن يمارس حقًا مبدأ الفعل الأقل. يُتَطلب القليل من الرياضيات والكثير من التفكير، لكنك ستفهم جيدًا كيف تعمل الفيزياء. فغالبًا ما يتم تدريس الفيزياء بترتيب زمني وتاريخي، بدلًا من تقديم الأدوات الأكثر صلة في البداية، إنه يشبه إلىٰ حد ما بداية تدريب المبتدئين في ميكانيكا السيارات بجعلهم يضربون الصخور معًا. نأمل أن يتم تحديث طريقة تعليم العلوم التجريبية!

ومن الصعب التحدث عمومًا عن أكوان لها بنية رياضية بديلة نظرًا لوجود العديد من الاحتمالات. في الواقع، هذا هو السبب في أن الضبط الدقيق قد أُعتبر تقريبًا تغييراتٍ في ثوابت الطبيعة - ونحن نعرف علىٰ الأقل القوانين.

ومع ذلك، فهناك عوالم أكثر غرابة، وأكوان بديلة وبسيطة كفايةً من أجل أن نكتشفها بشيء من التفصيل. في الحقيقة، إن علماء الرياضيات مازالوا يمرحون في تلك الأكوان الافتراضية لعدة عقود.

الحياة علىٰ الشَبَكَة

إنّ الزمن والمكان في الكون مترابطين، فبقدر ما يمكن أن تخبرنا به تجاربنا، نجد بين أي نقطتين مختلفتين في المكان أو الزمن نقطة أخرىٰ. وبدايةً من أربعينيات القرن الماضي مع ستانيسلاف أولام وجون فون نيومان، قام علماء الرياضيات أيضًا بالبحث عن «أكوان» ليست مترابطة وإنما منفصلة. تخيل طاولة شطرنج: ببساطة لا توجد في لعبة الشطرنج أي مكان يفصل بين المربعات a١ وa٢. وفي الرياضيات، نقوم بوضع العدد الصحيح بدلا من وضع علامات بالكسور العشرية علىٰ الأماكن والأزمنة: مثل ١، ٢، ٣، إلخ.



شكل ٣٨: هذه «طائرة شراعية» في لعبة الحياة التي افترضها كونواي. الخلايا ذات النقاط السوداء تكون حية والخلايا البيضاء تكون ميتة. النمط الموجود في أعلىٰ اليمين -في أربع خطوات زمنية- ينتقل بمقدار مسافة (خلية) واحدة إلىٰ الأسفل وإلىٰ اليمين. يبدو أن النموذج ينزلق بشكل قطريّ علىٰ الشبكة.

بعد إنشاء كون منفصل، يمكننا أيضًا إنشاء بعض الكيانات المنفصلة التي تطيع القواعد المنفصلة. فاخترع عالم الرياضيات جون كونواي أحد الأمثلة

الرائعة بشكل خاص في عام ١٩٧٠، وهو ما يعرف باسم لُعبة الحياة[1] "Game of Life" (إنها ليست لعبة حقًا، وإنما هي محاكاة.) تعمل هذه اللعبة علىٰ النحو التالي.

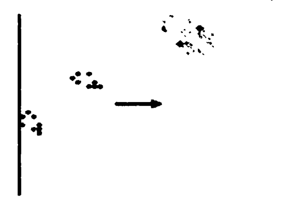
الكون الذي به لعبة الحياة هو عبارة عن شبكة خلايا مستطيلة وثنائية الأبعاد. الخلايا بسيطة للغاية: كل منها إما حيّ أو ميت، والقواعد بسيطة كذلك. وفي وقت معين، علىٰ كل خلية أن تحسب كم من الخلايا الثمانية المجاورة لها علىٰ قيد الحياة. فلو أن:

أ- الخلية المعنية ميتة وثلاثة من الخلايا المجاورة أحياء، أو

ب- الخلية المعنية حية وخليتين مجاورتين أحياء، أو

ت- الخلية المعنية حية، وثلاث خلايا مجاورة أحياء،

فستكون الخلية المعنية حية في الخطوة التالية؛ وإلا ستموت الخلية.



شكل ٣٩: سفينة نوح في لعبة الحياة لكونواي. ينمو النمط الإبتدائي علىٰ اليسار -مع ١٥ خلية فقط- بعد ٢٦٦٨ جيل ليصبح النمطَ الأخر علىٰ اليمين. تُظْهِر المنطقة الرمادية علىٰ اليسار موقع النمط الإبتدائي، سيستمر هذا «التزايد الصوري» في النمو بشكل قطري إلىٰ اليسار.

نبدأ كونًا بتشكيل من الخلايا الحية والميتة، ثم نضغط علىٰ زر «البدء». سيتطور الكون، وستعيش الخلايا وتموت، وستنمو الأشكال والأنماط وتتحلل. فعلىٰ سبيل المثال، يعرض الشكل (٣٨) شكلًا يعرف باسم طائرة شراعية، وفي أربع خطوات زمنية، يتحرك الشكل إلىٰ الأسفل وإلىٰ اليمين.

(١) نُشر في البداية في دار نشر (Gardner) في عام (١٩٧٠).

وقد تم اكتشاف وحوش رائعة في الكون الخاص بكونواي، وتوجد كل أنواع الأضواء الوامضة والفنارات والمُوَلِّدات والمدافع الشراعية والنجوم النابضة والسّمكة المنتفخة وسفن الفضاء وغيرها. واكتشف تشارلز كورديرمان Charles Corderma في عام ١٩٧١ «سفينة نوح»، والتي تبدأ العمل في منطقة تتكون من ١٥ خلية بجانب ١٥ خلية، و١٦ خلية منها حية (كما هو موضح في الشكل ٣٩) وتنمو لإنتاج نمط متكرر قطري (متزايد صوريًا) حيث إن كل ١٣٤٤ جيلًا يترك في أعقابه ٤٢ مكعبًا و٤٠ إشارة و٢٢ خلية نحل وثمانية أرغفة وأربعة طائرات شراعية وقاربين وطاولتين مغلقتين وقاربين طويلين وسفينة واحدة فنار واحد.[1] لرؤيتها قيد التنفيذ، قم بتحميل برنامج (conwaylife.com) لتشغيل لعبة الحياة علىٰ جهاز الحاسوب الخاص بك.

الأهم من ذلك -إلا أنه بشكل مدهش- في لعبة الحياة أنه يمكنك بناء آلة تورينج الشاملة\الكونية، وهي كيانًا تم بناؤه بعناية في الكون الخاص بكونواي ويمكنه محاكاة أي خوارزمية للحاسوب،[2] ومن الصعب تسمية ما تعنيه «الحياة» علىٰ الشبكة، لكن يمكننا علىٰ الأقل القول بأن الكون الخاص بكونواي لديه الكثير من البرامج تحت تصرفه.

تُعرف الأكوان الشبيهة بكون كونواي -حيث تتطور القواعد المنفصلة علىٰ الشبكة- بالآلات الخلوية ذاتية التشغيل (روبوتات خلوية). تأخذ الأكوان البديلة لكون كونواي في الاعتبار قواعدًا مختلفة -أكثر من حالتين لكل خلية- أو حتىٰ شبكات ذات أبعاد أعلىٰ، وعدد الاحتمالات كبير حقا. والنماذج الشبيهة بلعبة الحياة -أي الألعاب ثنائية الأبعاد والتي لها حالتين فقط (الحياة/الموت) وتعتمد فيها القواعد المعنِيَّة بالخطوة التالية علىٰ الحالة الحالية للخلايا المجاورة للخلية-

---

(١) مقتبسة من مقدمة «سفينة نوح» (Noah's ark) علىٰ: /conwaylife.com/wiki

(٢) لن تُنصِفَ هذه الجزئية الدقة الرياضية لعمل تورينج وزملائه وخلفائه في علوم الحاسوب ونظرية المعلومات. ارجع لما كتبه جيمس جليك "The Information: A History, A Theory, A Flood" عام (٢٠١٢) لمدخل لهذا العالَم.

يزيد عددها بأكثر من ١٠١٥٤ قاعدة. وحتىٰ لو أن القاعدة تعتمد فقط علىٰ عدد الخلايا المجاورة سواء حية أو ميتة، إلا أنه لايزال هناك ٢٦٢١٤٤ قاعدة.

وبما أننا قد أخذنا علىٰ عاتقنا في هذا الكتاب مهمة البحث عن الأكوان الأخرىٰ الممكنة، فإن الروبوتات الخلوية تعتبر داخل اختصاصنا. ولكن لاحظ أنه لن يكفي أن نشير فقط إلىٰ أمثلة مثيرة للاهتمام للروبوتات الخلوية كما هو الحال في كون كونواي، ولكننا قد وسعنا مجال بحثنا. والسؤال هو ما إذا كُنَّا سنجد (جنة شبيهة بجنة) عدن - حيث يوجد التعقيد والحياة في كل زاوية بها - أم سنجد صحراءً - حيث توجد الحياة مجتمعةً في عدد قليل من الواحات الصغيرة.

كنا نَوَدُ أن نأتي بتقرير عن الجزء الخاص بالروبوتات الخلوية الذي يدعم هذا النوع من التوازن بين البساطة والتعقيد والحداثة الذي نراه في كون كونواي. ولسوء الحظ، لا توجد طريقة بسيطة لتحديد ذلك. حتىٰ السؤال الأكثر دقة عن: ما هو الشيء الذي يسمح بوجود آلة تورينج الكونية، يصعب الإجابة عنهم جميعًا. ومع ذلك، تشير بعض الأدلة إلىٰ ندرة الروبورتات الخلوية المثيرة للاهتمام.

الدليل الأول هو تطوير لعبة الحياة في كون كونواي، فبساطة القواعد لا تأتي مجانًا. فقد بحث كونواي وطلابه عن قواعد أنتجت كونًا لا يمكن التنبؤ به، وأخذوا بعض أفكار القواعد من أنظمة بيولوجية حقيقية: القواعد تطبق «الموت» بالعزلة أو الزحام، والحياة والولادة كحالة بينهما. عَلَقَ ريتشارد جاي في السيرة القصيرة لكونواي (عام ٢٠٠٨) قائلًا:

لم يتم اكتشافه «للعبة الحياة» إلا بعد استبعاد العديد من الأنماط والشبكات ذات الزوايا الثلاثية والسداسية وكذلك الرباعية، وكثير من قوانين الأخرىٰ للولادة والموت بما في ذلك إدخال نوعين وحتىٰ ثلاثة من الأجناس (حالات). وتمت تغطية فدان من ورق المربعات، وقام كونواي -ورفقائه من طلاب الدراسات العليا المعجبين بعمله- بتبديل رقاقات لعبة البوكر أو العملات الأجنبية المعدينة

أو أصداف الودع أو أحجار الحظ (السوداء والبيضاء) أو أي شيء آخر يقع تحت أيديهم ليصبح هناك توازنًا حقيقيًا بين الحياة والموت.

هذا يشبه إلىٰ حد كبير الضبط الدقيق - يُظْهِر جزء صغير جدًا فقط ضمن مساحة واسعة من الاحتمالات توازنًا مثيرًا للاهتمام بين الضجر والفوضى.

والإشارة الأخرىٰ تتسم أكثر بالطابع الرسمي. فقد حاول علماء الرياضيات تصنيف الروبورتات الخلوية مشيرين إلىٰ أربعة أنواع من الأكوان التي تنتج عن مجموعة معينة من القواعد. (اقترح ستيفن ولفرام - الذي يؤيد امكانية توليد القوانين المعقدة التي تشبه قوانين الفيزياء من خلال الروبورتات الخلوية -هذه التصنيفات في منتصف الثمانينيات). ورغم أنها ليست دقيقةً تمامًا - حيث إن هناك حالات يصعب تصنيفها - إلا أنها مفيدة.

الصنف الأول: ممل. الكون يميل إلىٰ الإطراد المستقر، فكل خلية إما حية أو ميتة ولن يتغير تقريبًا أي شيء.

الصنف الثاني: متكرر. يميل الكون بسرعة إلىٰ أنماط مستقرة أو دورية بسيطة؛ تبقىٰ الخلايا حية أو ميتة أو وامضةً بينهما.

الصنف الثالث: الفوضىٰ. لا يوجد هياكل مستقرة، لأن أي نمط يذوب بسرعة في الضوضاء.

الصنف الرابع: مثير للإعجاب. تزداد أنماط معقدة -مع هياكل مستقرة علىٰ قيد الحياة- تتحرك وتتفاعل لفترات زمنية طويلة.

تعتبر سفينة نوح من الأمثلة الجيدة لأنماط الصنف الرابع: نمط بسيط إبتدائي ينفجر في مجموعة معقدة من الأشكال. تعبر أكثر من ألف خطوة قبل أن تستقر في نمط معقد ومتكرر.

اجتذب الصنف الرابع معظم اهتمام الباحثين لإنشاء آلة تورينج الكونية في عالم خلوي، ونحتاج إلىٰ أن نكون قادرين علىٰ تشفير المعلومات وحمايتها ونقلها من مكان إلىٰ آخر. ولن يصلح الصنف الأول والثاني لتلك المهمة حيث إنهما مضطردين جدًا بطريقة لا تسمح بتشفير المعلومات، كما أنهما غير مستقرين

بطريقة لا تسمح بالنقل. الصنف الثالث ليس جيد أيضًا، لأن الفوضىٰ سوف تمحو أي معلومات نحاول تشفيرها. وظن ولفرام - في ضوء ذلك - أن الأكوان التابعة للصنف الرابع هي فقط من ربما تسمح بالحساب الكوني\الشامل.

تعتبر أكوان الصنف الرابع نادرة بين الروبوتات الخلوية، فإن أبسط روبوت خلوي أحادي الأبعاد: مجرد خط من الخلايا الحية أو الميتة وتعتمد الخطوة التالية علىٰ خليتين متجاورتين فقط. ويوجد ٢٥٦ قاعدة منهم فقط ٦ قواعد تابعين للصنف الرابع. وعلىٰ الرغم من بساطة الروبوتات الخلوية أحادية الأبعاد، إلا أن ماثيو كوك في تسعينات القرن الماضي أثبت أن أحد هذه الأكوان قد تحتوي بالفعل علىٰ آلة تورينج الكونية. (في مؤلفه المشهور "Rule 110" الذي نشر عام ٢٠٠٤)

لاحظ الباحثون أيضًا أن أي تعديلًا بسيطًا للكون التابع للصنف الرابع غالبًا ما ينتج عنه إما كونًا بسيطًا (الصنف الأول أو الثاني) أو فوضويًا (الصنف الثالث). وتوجد أكوان مثيرة للاهتمام يمكنها دعم كيانات معالِجة للمعلومات الموجودة في الحدود الضيقة بين الأصناف الأخرىٰ. نتيجة لذلك، فمن المتوقع أن ينخفض الجزء التابع لأكوان الصنف الرابع بشكل حاد مع استكشاف أمكنة ذات قواعد أكثر تعقيدًا (مثل بُعدَيْن عُلْيَيّن؛ حالات ممكنة أكثر لكل خلية).

وتشبه نقاط التوازن التحولاتِ الطورية في الفيزياء: علىٰ سبيل المثال، عندما يُسَخَّن الثلج، يتغير هيكلها بشكل مفاجئ عندما تصل درجة الحرارة إلىٰ نقطة الانصهار. وبالنظر إلىٰ درجة الحرارة وضغط الماء، توجد خطوط فاصلة بشكل حاد بين مراحل الماء (بخار، سائل، صلب). وبالمثل في مجموعة قواعد الروبوتات الخلوية المحتملة، حيث توجد خطوط فاصلة بشكل حاد حادة بين ما هو «بسيط للغاية» وما هو «مزعج للغاية». ويُعتقد أن السلوك المعقد الذي يحاكي الحياة متوطنٌ في تلك الحدود والتحولات الطورية في مكان القاعدة وعند «حافة الفوضىٰ».

وفي عام ٢٠١٤، تحقق ساندرو ريا وأوسيم كنوخي في البرازيل من بعض القواعد البالغ عددها ٢٦٢١٤٤ والتي تعتبر قريبة جدًا لما في لعبة الحياة الخاصة بكونواي، واقترحوا أن القواعد المثيرة للاهتمام توجد بالقرب من الحدود التي تفصل الأكوان التي تنمو فيها المناطق الميتة على حساب المناطق الأخرى المنكمشة، والحياة التي قال بها كونواي تعتبر قريبة جدًا من هذه الحد. وخلصوا إلى أن «الروبوتات المعقدة نادرة وأن قاعدة الحياة الخاصة بكونواي - مع خاصيتها النادرة لكونها آلة تورينج الكونية مضبوطة ضبطًا دقيقًا لوضع (الروبورت الخلوي) على حدود التحولات الطورية».

حتى في العالم الخارجي المطلق للروبوتات الخلوية، ومع وجود خلايا (حية أو ميتة) منفصلة على الشبكة بدلًا من المجالات والجزيئات في المكان والزمن، نسمع قصة مألوفة. لا يمكن لمعظم «قواعد المكان» الاحتفاظ بالمعلومات والحفاظ عليها ونقلها. فالأنماط متجمدة أو مُسحت تمامًا أو كُتب فوقها بصخبٍ لا معنى له. ولكن على الحافة، إذا تم تحقيق التوازن الصحيح، فيمكن للأنماط التحمل والانتشار، يمكن للكيانات البقاء والتفاعل، وأي حساب (تقدير تقريبي) ممكنًا. إن أكوانًا مثيرة للاهتمام ومعقدة ومنظمة ومعالِجة للمعلومات تتطلب قواعد مضبوطة ضبطًا دقيقًا.

تسود الفوضى المطلقة الجميعَ

لقد لعبنا مع قوانين ونسيج الكون وكانت النتيجة عمومًا إما رتابة أو فوضى. ولكن هناك سيناريو واحد آخر يجب مراعاته: كون بلا قواعد رياضية على الإطلاق. بينما يبدو هذا الأمر غريبًا للغاية، إلا أن حقيقة كوننا قادرون على فهم الكون بأي نوع من الإدراك المُنظم، هي في حد ذاتها مدهشة. قال أينشتاين «أكثر شيء غير مفهوم بشأن العالم، هو أنه مفهومًا.»[1]

(١) مقتبسة من (Vallentin (1954, p. 24).

تعتمد الحياة علىٰ الطبيعة الرياضية الأساسية لقوانين عالمنا، ويعتمد عدد لا يُحصىٰ من الآليات المتشابكة -والتي تعمل في كل خلية في أجسامنا- علىٰ خواص مكوناتنا وقواعدنا المستقرة والقابلة للتنبؤ التي يتفاعلون بها.

يمكن اعتبار قوانين الطبيعة الرياضية بمثابة ترميز فعال بشكل استثنائي لبيانات تجاربنا ورصدنا للكون. فعلىٰ سبيل المثال، عندما تقفز الإلكترونات بين المدارات المسموح بها في ذرة الهيدروجين، ينبعث منها ضوء ذو تردد محدد (الطيف الذري). فبدلًا من حفظ مئات الأطوال الموجية المرصودة في قاعدة بيانات نيست (NIST) للطيف الذري، يمكننا استخدام صيغة ريدبرج، وبالتالي أسفل صفحات وصفحات من البينات الرصدية والتجربة، نجد نمطًا بسيطًا.

لكن هذا الأمر ليس ممكنًا دائمًا، حيث يحدد علماء الرياضيات تعقيد كولموجوروف شينتاين (Kolmogorov-Chaitin complexity) لسلسلة من الأحرف علىٰ أن طولها هو نفس طول أقصر مجموعة من التعليمات التي تنتجها. علىٰ سبيل المثال، التسلسل التالي:

٠١

يمكن أن يوجز في «٠١ مكرر ٢٢ مرة». ولكن علىٰ النقيض من ذلك، لا توجد صيغة بسيطة لمسرحية هاملت لشكسبير، أو لرميات النرد العشوائية التالية:

٢١٣٦٣٦٢٤٦٤٦٢٥٣٣٣٦٥٥١٦٥١٢٦٢٤٤٥٢٣٦٦٣٣١٦٣٦٥١٦٥٦.

وهذا يعطينا مقاربة قوية وصارمة لتحليل فكرة صعبة مشهورة: تعتبر السلسلة عشوائية إذا لم تكن هناك تعليمات أقصر من السلسلة نفسها، وبمعنىٰ آخر، أن تكون السلسلة غير قابلة للضغط، وهذه هي المبرهنة الرياضية لتعقيد كولموجوروف شينتاين تشير إلىٰ أن معظم السلاسل عشوائية.[١]

---

(١) لا تتمتع الغالبية العظمىٰ من السلاسل بحسابات منتظمة، وقد سمينا مثل هذه السلسلة بـ «العشوائية». ولا يوجد وصف أقصر لمثل هذه السلسلة الأخرىٰ من الوصف الحرفي بكونها: غير قابلة للانضغاط. (Li and Vitany (2008, p. 4)).

وبالتالي فمن الجدير بالملاحظة أن سلاسل الأرقام التي تمثل نتائج تجاربنا وبياناتنا الرصدية للكون يمكن تلخيصها في عدد قليل من المعادلات القصيرة. علىٰ سبيل المثال، يجمع «مصادم الهدرونات الكبير» (The Large Hadron Collider) حوالي ٥٠ تيرابايت من البيانات كل يوم لكيفية تفاعل الجزيئات، ومع ذلك يمكن كتابة النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات بخط اليد - باللغة الرياضية المناسبة - علىٰ قطعة واحدة من الورق. ويمكن ترميز عالمنا أو تلخيصه بدرجة غير عادية، فالكون مفهوم لأنه قابل للانضغاط.

ماذا لو لم يكن الأمر كذلك؟ ماذا لو كانت الظواهر الفيزيائية لا يمكن إيجازها في أنماط وقوانين بسيطة؟ سيكون مثل هذا الكون عشوائيًا حقًا، حيث لا يمكن أن يقودك أي حدث إلىٰ توقع أي حدث آخر. فيمكن للجزيئات والموجات والمجالات والدببة القطبية الدخول والخروج من الوجود بلا معنىٰ أو سبب. سيكون الأمر أشبه بمشاهدة ارتعاش شاشة تلفاز قديم، أو قراءة الأعمال التي جمعها مليون قرد باستخدام مليون آلة كاتبة علىٰ أمل أنتاج مسرحية هاملت.

ومن الصعب تخيل كيف كانت ستبدأ الحياة في هذه الحالة العشوائية شديدة الاهتياج، ومن الصعب حتىٰ تخيل الحياة تزدهر وتتكاثر وتتطور. وفي النهاية، قد يظهر من داخل هذه الفوضىٰ نظامًا أو تركيبًا يبدو أنه يتبع القوانين الرياضية. لكن هذا الوهم المؤقت قريبًا سيذوب ثانيًا في الدوامة. فقوانين كوننا تعكس النظام والاستقرار اللذان يتيحان الحياة. وبما أن الفيزياء النظرية تبدأ بافتراض مثل هذه القوانين، فلا يمكن للعلم أن يخبرنا عن السبب وراء النظام في الكون علىٰ الإطلاق.

وبهذه الرؤية الفوضوية نصل إلىٰ نهاية رحلتنا. فعند التفكير في كون بلا قوانين، ولا بنية ولا قابلية للتنبؤ، فقد وصلنا إلىٰ الفوضىٰ المطلقة.

خلال رحلتنا، قابلنا رسالة مشتركة؛ سواء كانت التغييرات (التي يمكن أن تحدث للكون) صغيرة لما نعرفه، أو تغييرات أكبر تهز أسس المكان والزمن، يبدو أن الكون كان من الممكن أن يكون مختلفًا تمامًا، ومميتًا وعقيمًا للغاية.

ونجد أنفسنا نتساءل عن وجودنا في كونٍ به مجموعة لطيفة من القوانين الفيزيائية، مع الكُتَل والقوىٰ الصحيحة، والبداية الصحيحة، ويستقر بها الأمر في نسيج مبهج يتكون من ثلاثة أبعاد للمكان وبُعد واحد للزمن، مع وجود كثير من الطرق المحتملة التي كان من الممكن أن يكون عليها الكون، فلا يمكننا تجاهل الخصوصية البَيِّنة لوجودنا.

وبالتالي، فما يجب علينا أن نستنتجه من هذا؟

٧- بضعة عشر اعتراضا على الضبط الدقيق

لقد عرضنا الضبط الدقيق من منظور علمي -كما في الفصول السابقة- بما يناسب المتلقين علىٰ اختلافهم سواء الصغار والكبار، والعلماء والعوام، بل وحتىٰ المتفلسفين. وقد كان له قدرة فائقة علىٰ إثارة التساؤلات.

فعلىٰ سبيل المثال، بعد حديث دام أربعين دقيقة مع زملائنا بمعهد سيدني للدراسات الفلكية Sydney Institute for Astronomy الذين هم فلكيون محترفون وظيفتهم هي استيعاب الكون- بعد هذا الحديث استغرقنا ساعة ونصف للإجابة عن التساؤلات. وبالنسبة لمن لم يسبق له حضور حلقة دراسية عن الفلك، فإن هذا لم يحدث من قبل مطلقا. ففي الحلقات الدراسية المعتادة، يحرص الفلكيون علىٰ المغادرة بعد ثلاثة أو أربعة أسئلة، وذلك لسبب وجيه. فهذا وقت الغداء.

إن ضبط الكون بدقة لأجل الحياة أمر فريد من واقع تجربتنا نظرا لقوة الآراء المقدمة. ففي كلا الأوساط العامة والمتخصصة، كثيرا ما تتحول الاختلافات إلىٰ جدل صاخب. حتىٰ إن أولئك الذين لا يعتقدون أن الضبط الدقيق له أي دلالة ببساطة لا بد وأن يبينوا للجميع بحماسة وتفصيل شديد سبب عدم دلالته علىٰ أي شيء تحديدا.

كما يقدم الضبط الدقيق أيضا طائفة هائلة من الردود. ويتفق معظم المتلقين علىٰ أن هذه حقيقة غريبة بعض الشيء، وينبغي ألا يسمح بمرورها مرور الكرام دون تفسير. فلا بد من أن توضع في موضعها بحرص، سواء تسخيرها في خدمة بعض الاستنتاجات أو عزلها تماما عن تلك الاستنتاجات.

وتكمن المشكلة في أنه لا يمكن لمختلف الجمهور أن يتفقوا علىٰ مكانتها المناسبة. فقد انقلبت جلستنا الخاصة بالأسئلة والأجوبة عقب حديثنا إلىٰ لقاء مفتوح. فقد كانت الأسئلة الموجهة إلىٰ المتحدث يعترضها الصف الأمامي، ويدافع عنها مَن في الجانب الأيسر، ويقاطعها مَن في الخلف، وهكذا. فقد كنا نشعل الفتيل وحسب ثم نستمتع بالألعاب النارية.

ونظرا إلىٰ أن الضبط الدقيق يعد حقيقة غريبة بعض الشيء، سيكون من المفيد مناقشة أشهر الردود التي جمعناها من الجماهير خلال أعوام.

الاعتراض الأول: ما هي إلا مصادفة

التعقيب الوارد: سوف تصاب بالجنون إذا حاولت تفسير كل تفاصيل الكون الدقيقة. فبعض الأشياء موجودة كما هي وحسب. ولو كان ثمة شيء لا يحتاج لمزيد من التفسير، لكان قوانين الطبيعة.

الرد الموجز: قالت السيدة ماربل Marple في نفسها: «دائما ما يجدر ملاحظة كل مصادفة. ولك أن تلقيها بعيدا في وقت لاحق، إذا تبين أنها محض مصادفة.» والضبط الدقيق يبدو إلىٰ حد بعيد كإشارة إلىٰ ما هو أعمق بكثير من قوانين الطبيعة كما نعرفها.

الرد المفصل: نحن لا نؤمن بأن قوانين الطبيعة كما نعرفها هي القوانين الحتمية للطبيعة. وعلىٰ وجه الخصوص، فإن تلك الثوابت أمر عرضي. فكل هذا الغموض والدسائس المرتبطة بالثوابت الأساسية للطبيعة (أقولها في نبرة عميقة مدوية)، هي معاملات حرة في معادلاتنا. إن هي إلا أرقام لا نستطيع حسابها، وعلينا أن نقيسها. فهي عبارة عن بيانات في صورة قراءات خفية لأجهزة القياس اقتحمت القوانين الرياضية للطبيعة. فيا للغرابة!

وإن أي نظرية ذات معاملات حرة عرضة للاستبدال بنظرية ذات معاملات حرة أقل. فماذا ستكون تلك النظرية؟ إن أي حقيقة مثيرة تتعلق بتلك المعاملات الحرة من شأنها أن تكون تلميحا لما يلحق ذلك. والضبط الدقيق ما هو إلا حقيقة ضمن هذه الحقائق.

الاعتراض الثاني: لم نرصد سوىٰ كون واحد

التعقيب: لنعد النظر فيما نعرف. كم كونا رصدنا؟ واحد. من بين الأكوان التي رصدناها، كم منها يحوي حياة؟ واحد. فإليك إذن احتماليتك: كون واحد من بين كون واحد يحوي حياة. فأين الضبط الدقيق؟

الرد الموجز: ليست الفيزياء مختصة بعمليات الرصد وحسب، وإنما هي مختصة أيضا بالأنماط والنظريات والقوانين. فهي عبارة عن استكشاف «الاحتمالات الأخرىٰ». فأكوان الضبط الدقيق عبارة عن أكوان مفترضة نظريا لاستكشاف الاحتمالات القائمة وفقا لقوانين الطبيعة التي عهدناها. لذا فنحن نقارن أكوانا نظرية، وعدد الأكوان المرصودة التي تسمح بالحياة ليس كل ما في الأمر.

الرد المفصل: اكتشف الفيزيائيون أن عددا قليلا من القواعد الرياضية البسيطة يمكنه تفسير جبال من المعلومات التي جمعناها عن سلوك كوننا وسلوك محتوياته.

ومع ذلك، فإن وصف تلك القوانين يتجاوز الماهية الحقيقية للكون. فقانون الجاذبية لنيوتن مثلا يصف قوة الجاذبية بين أي جسمين تفصلهما أية مسافة. فخاصية قوانين الطبيعة هذه تجعلهم قابلين للتنبؤ؛ فالقوانين لا تفسر ما رصدته وحسب، وإنما تراهن علىٰ ما سنرصده لاحقا. فالقوانين التي نستخدمها هي نفسها التي تربح الرهانات.

كما أن جزء من وظيفة الفيزيائي النظري أن يستكشف الاحتمالات الواقعة في نطاق قوانين الطبيعة لرؤية ما يخبرونا به عن الكون، ومن ثم، لرؤية ما إذا كان أحد تلك السيناريوهات قابلا للاختبار. فعلىٰ سبيل المثال، يسمح قانون نيوتن بإمكانية وجود مدارات بيضاوية للغاية. فإذا سار أي شيء من المجموعة الشمسية في مدار كهذا، سيكون بعيدا عن الرؤية في معظم رحلته، ولن يظهر سوىٰ من حين لآخر ليعبر الشمس بسرعة. وفي عام ١٧٠٥، استخدم إدموند هالي Edmond Halley قوانين نيوتن في التنبؤ بأن المذنب الذي يحمل اسمه،

والذي رؤي آخر مرة حينئذ عام ١٦٨٢ سيعود في ١٧٥٨. وقد كان محقا، رغم أنه لم يعش إلىٰ أن يرىٰ تحقُّق ما تنبأ به.

ويشمل استكشافنا للسيناريوهات الممكنة والأكوان الممكنة ثوابت الطبيعة. ولقياس تلك الثوابت، نحتاج إلىٰ حساب أثر قيمتها فيما نرصده. فعلىٰ سبيل المثال، يمكننا حساب مقدار تأثر مسار إلكترون عبر مجال مغناطيسي بحسب شحنته وكتلته، وباستخدام تلك الحسابات يمكننا العودة عكسيا إلىٰ رصدنا للإلكترونات لاستنتاج شحنتها وكتلتها.

كما يتم حساب الاحتمالات -عند استخدامها في العلوم- قياسا علىٰ مجموعة من الإمكانيات؛ تذكر تعريف «الاحتمالية» الذي درسته في المرحلة الثانية الذي يقتضي «تقديمها علىٰ الإمكانية». لا يزال لدينا مزيد من الكلام عن الاحتمالية في الاعتراض الخامس عشر، وكل ما نحتاجه هنا هو ذكر أن العلماء يختبرون أفكارهم من خلال ملاحظة أي الإمكانيات تصبح محتملة أو غير محتملة من خلال الجمع بين المعلومات والنظريات. فلا يمكن لنظرية أن تزعم تفسير البيانات بقولها: بما أننا رصدنا البيانات؛ فإن المسألة لا تحتمل إلا أمرا واحدا.

والضبط الدقيق عبارة عن خاصية من خصائص الأكوان الممكنة وفقا للفيزياء النظرية. فنحن نسعىٰ لمعرفة سبب وجود كوننا بهذه الكيفية التي هو عليها، وبوسعنا الحصول علىٰ تلميحات من خلال استكشاف كيف كان من الممكن أن يكون، مسترشدين بقوانين الطبيعة.

الاعتراض الثالث: الأحداث ضعيفة الاحتمال تحدث طول الوقت

التعقيب: بصرف النظر عن الحياة في مجملها، لنبحث احتمالية وجودك. تأمل جميع المصادفات الواقعة مع والديك كونهما في المكان نفسه والاجتماع نفسه، وانسجامهما مع بعضهما وارتباطهما ببعضهما. تأمل الاحتمالية الضئيلة لأن يسبق حيوان منوي ما مليار حيوان منوي آخر في العثور علىٰ البويضة. وبالمثل، ضاعف احتمالات ضئيلة فيما يتعلق بجميع أسلافك رجوعا بالزمن للوراء،

وسوف تحصل علىٰ احتمالية ضئيلة للغاية. ومع ذلك، ها أنت ذا. كل ما في الأمر هو أن عليك الاعتياد علىٰ ذلك.

الرد الموجز: أحيانا يُقصد بالاحتمالات الضعيفة حدوث شيء ما غير محتمل. ويكفي ما قلنا. ولكن أحيانا يُقصَد بالاحتمالات وضعنا افتراضات خاطئة. فبالنظر إلىٰ أنه تقريبا لا أحد يعتقد أن قوانين الطبيعة -كما نعرفها- هي القوانين النهائية التي تحكم الكون، يمكن عندئذ لاحتمالية وجود كون يسمح بالحياة -تلك الاحتمالية الضعيفة- أن تكون تلميحا إلىٰ لتفسير أفضل، أي نظرية أعمق.

الرد المفصل: يقول المحامي: بالتأكيد، إن دليل الدنا (DNA) يجعل براءة موكلي أمرا غير محتمل إلىٰ أبعد الحدود. ولكن -سيادتكم- تقع الأحداث غير المحتملة طول الوقت! كالبويضات والحيوانات المنوية وغيرها! ويتوقف الدفاع هنا.

لا بد وأن خطأ ما قد وقع ارتُكب في معرض هذا الرد علىٰ الضبط الدقيق، لأن الرد نفسه يمكن إصداره في معرض الرد علىٰ أي احتكام إلىٰ الاحتمالات الضعيفة. فلن نكون قادرين علىٰ الاستنباط من خلال الاحتمالات مطلقا.

تأمل الأحداث التي تبدوا غير محتملة: مثل لاعب بوكر يحصل علىٰ رويال فلاش آخر، أو وميض كبير علىٰ جهاز استكشافنا، أو خزنة ذات تريليون تسلسل محتمل مفتوحة. ففي تلك الحالات، لا تصدر الاحتمالات الضعيفة من قبل الحدث نفسه، وإنما من قبل افتراضاتنا. فقد افترضنا أن اللاعب عادل، أو أن قراءة جهاز الاستكشاف عبارة عن ضوضاء وحسب، أو أن اللص قد خمن تسلسل الخزنة.

فالفرق بين هذه وتلك الحالات «غير المحتملة تماما» هو إتاحة (أو حتىٰ مجرد لمحة عن) تفسير أفضل: مثل خلطا غير نزيه، أو إشارة، أو خيانة داخلية. وهذا تماما ما نفتقر إليه في حالة «البويضة + الحيوان المنوي = أنت».

لذلك، قبل أن ننعت حدثا ذا احتمالية ضعيفة بأنه محض خبط عشواء، علينا أن ندرس التفسيرات البديلة. فما التفسيرات الأعمق والأفضل التي يقترحها الضبط الدقيق؟ واصل القراءة!

الاعتراض الرابع: لقد دحض فلان (أي شخص) حجة الضبط الدقيق

التعقيب: لقد بحث عدد من العلماء بعناية ادعاءات الضبط الدقيق وتوصلوا إلىٰ أنها علىٰ الأقل ملتبسة، إن لم تكن زائفة. فقد تم تفنيد الضبط الدقيق.

الرد الموجز: لا، هذا لم يحدث.

الرد المفصل: نشر لوك Luke عرضا للمصنفات العلمية عن الضبط الدقيق، حيث لخص بعناية استنتاجات ما يزيد عن ٢٠٠ بحث منشور في هذا المجال. وقد استندت تلك الأبحاث إلىٰ الأعمال الأصلية للفيزيائيين البارزين كارتر Carter وسيلك Silk وكار Carr وريس Rees ودافيز Davies وبارو Barrow وتيبلر Tipler، الذين هم رواد المجال. وقد تم تنقيح حساباتهم باستخدام أحدث النماذج والمناهج. وفي بعض الأحيان، تظهر خيارات جديدة للحياة، وأحيانا أخرىٰ، تظهر الحياة مضبوطة بدقة أكثر مما كنا نعتقد. وفي الجملة، صمد الضبط الدقيق للكون لأجل الحياة أمام تمحيص الفيزيائيين.

وخير مثال علىٰ كيفية تطور هذا المجال هو ما قام به أولف جي مايسنار Ulf-G. Meißner ومعاونوه. حيث صرف فريق خبرائه المتخصصين في نظرية القوىٰ النووية انتباههم إلىٰ نواة الكربون التي في حالة هويل Hoyle. وكما رأينا في الفصل الرابع، فإن هذه الحالة تؤدي دورا حاسما في إنتاج الكربون في النجوم، ومن ثم، صناعة العمود الفقري للدنا DNA وكذلك العديد من وحدات البناء البيولوجية الأخرىٰ.

ففي عام ٢٠١١، استخدموا محاكاة أجهزة حاسوب فائقة لإثبات أن النظرية النووية من شأنها أن تتنبأ تنبؤ صحيحا بجميع خواص حالة هويل التي تم قياسها. وفي عام ٢٠١٣، استخدموا أحدث نماذجهم في بحث «صلاحية الحياة القائمة

علىٰ أساس الكربون من حيث كونها وظيفة الكتلة الخفيفة للكوارك». وقد توصلوا إلىٰ أن تغير كتل الكواركات أو شدة الكهرومغناطيسية بنسبة ضئيلة يؤثر تأثيرًا كبيرا في قدرة الكون علىٰ إنتاج كل من الكربون والأكسجين اللازمين للحياة العضوية.

وفي العديد من الأمثلة -كهذا الذي بين أيدينا- تخبرنا أفضل نظرياتنا الفيزيائية بمدىٰ حساسية ظروف الحياة فيما يخص الثوابت الأساسية للطبيعة.

ولم ينازع في حالات الضبط الدقيق التي ناقشناها في هذا الكتاب سوىٰ قليل من الأبحاث المحكمة[1]، ولم يؤيد أيٌّ منهم ادعاء أن معظم قيم الثوابت والظروف الأولية للطبيعة تسمح بوجود الحياة. وفي حين أنه لا يزال أمامنا المزيد مما علينا القيام به، وعلىٰ وجه الخصوص، فإن لدينا المزيد والمزيد مما علينا معرفته عن تشكل الحياة، إلا أن تطور الفيزياء النظرية -لا سيما الحاسوبية- يميل إلىٰ تعزيز فهمنا للضبط الدقيق.

وقد ينتج هذا الاعتراض من اعتقاد أن الضبط الدقيق هو اختراع طائفة من المؤمنين الذين سطوا علىٰ الفيزياء لغاياتهم الشخصية. وليس الأمر كذلك؛ فقد بدأ هذا المجال ولا يزال في مجلات الفيزياء علىٰ يد فيزيائيين أمثال بارو Barrow، وكار Carr، وكارتر Carter، وديفيز Davies، ودويتش Deutsch، وإيليس Ellis، وجرين Greene، وجوث Guth، وهاريسون Harrison، وهوكينج

---

(١) ذهب ستيفين واينبرج مستندا إلىٰ أسباب معقولة- إلىٰ أن حالة هويل ستكون ذات خواص تسمح بالحياة لدىٰ نطاق واسع من المعاملات، وقد ثبت بطلان ذلك طبقا للحسابات التي أجراها إبيلباوم وآخرون Epelbaum et al. عام (٢٠١١-٢٠١٣) ومايسنر Meißner عام (٢٠١٥). وفي الفصل الثالث، ناقشنا ما ذهب إليه هارنيك وكريبس وبيريز Harnik, Kribs and Perez عام (٢٠٠٦) من إمكانية وجود الحياة في كون ليس به قوة ضعيفة. فإن هذا يستلزم «ضبطا شديدا» (علىٰ حد تعبيرهم) للمعاملات الأخرىٰ، وقد لا ينتج أكسجينا كافيا. كما ذهب أجويري Aguirre عام (٢٠٠١) إلىٰ أن انفجارا كبيرا باردا يكون فيه عدد الفوتونات وجسيمات المادة العادية متساويا تقريبا- من شأنه أن يسمح بالحياة. وكما ناقشنا في الفصل السادس، فإن المعامل المتعلق بهذا الأمر والذي يرمز له بالرمز (ηϒ) يعتمد علىٰ الفيزياء التي تجعل المادة تفوق المادة المضادة في العدد وذلك في كوننا، تلك الفيزياء التي هي مجهولة إلىٰ حد بعيد. وقد نوقشت جميع تلك الحالات في البحث العلمي الذي قدمه لوك Luke.

وبـولـكـيـنـجـهـورن Hawking، ولـيـنـدا Linde، وبـيـدج Page، وبـنـروز Penrose، وبـولـكـيـنـجـهـورن Polkinghome، وريس Rees، وساندیدج Sandage، وسمولين Smolin، وساسكيند Susskind، وتيجمارك Tegmark، وتيبلر Tipler، وفيلينكين Vilenkin، ووانبيرج Weinberg، وويلار Wheeler، وويلكزك Wilczek[(١)]

الاعتراض الخامس: سيعثر التطور علىٰ وسيلة ما

التعقيب: إن الحياة -وفقا لما توصلنا إليه- مرنة إلىٰ أبعد الحدود. فقد تكيفت مع بيئات قاسية، سواء جليد أنتاركتيكا Antarctic ice أو فوهات البراكين المغمورة في قيعان البحار. ولذا فإن قدرة الحياة علىٰ البقاء في ظل ظروف قاسية كالحرارة والبرودة والحمضية والإشعاع والضغط والجفاف وندرة الغذاء هي شاهد علىٰ شدة تحملها. فالتطور سيجعل الحياة تتأقلم مع الظروف التي تكون فيها أيًّا ما تكن.

الرد الموجز: حتىٰ أقسىٰ الظروف التي علىٰ الأرض تعتبر جنة إذا ما قورنت بالفظائع المرتقبة في نطاق فضاء المتغيرات[(٢)] (parameter space). دعك من تنظيم الحرارة؛ فسوف نحلل ذراتك ونسحق جسيماتك في ثقوب سوداء أو انساحاقات كبيرة. وعلاوة علىٰ ذلك، يفترض التطور وجود حد أدنىٰ من الكيمياء الحيوية: فإلىٰ أن يكون لديك إحدىٰ صور الحياة التي بوسعها نسخ نفسها وفقا لخطة داخلية، لا يمكن للتطور الداروينى حتىٰ أن يبدأ عمله.

الرد المفصل: يمكن للكائنات الحية علىٰ الأرض أن تبقىٰ علىٰ قيد الحياة في نطاق هائل من الظروف. وقد تكيفت أعتىٰ صور الحياة -المعروفة بالكائنات التي تألف الظروف القاسية (extremophiles)- علىٰ البقاء والازدهار في بيئات من شأنها القضاء علىٰ معظم صور الحياة الأخرىٰ. فعلىٰ سبيل المثال، السلالة ١١٦

---

(١) المراجع في بارنيز (٢٠١٢).

(٢) فضاء المتغيرات هو فضاء قيم المتغيرات المحتملة التي تحدد نموذجًا رياضيًا معينًا، وغالبًا ما يكون مجموعة جزئية من الفضاء الإقليدي ذو الأبعاد المحدودة. المترجم

من الميثانية النارية (Methanopyrus kandleri) التي سميت بهذا الاسم عن جدارة هي كائنات دقيقة وحيدة الخلية تنموا في درجات حرارة تبلغ ١٢٢ درجة مئوية وعند ضغط أكبر ٢٠٠ مرة من الضغط الذي نتعرض له. وفي الوقت نفسه، ثمة حشرة صغيرة -إحدىٰ أنواع القمعيات- تعيش في أنهار جليدية مرتفعة في الهيمالايا وهي تكون نشطة عند درجات حرارة باردة جدا (-١٦ درجة مئوية) لدرجة أن الحشرات الموجودة في القطب الجنوبي نفسها لو كانت هنالك لارتدت معطفا وأوت إلىٰ بيتها.

هل قللنا من شأن الحياة؟ علىٰ حد تعبير عالم الرياضيات الشهير عالميا؛ الدكتور إيان مالكوم Dr Ian Malcolm:

فإنه لو كان ثمة شيء تعلمناه من تاريخ التطور، فهو أن الحياة لن تنحصر. فهي تتحرر؛ وتتمدد إلىٰ مناطق جديدة وتتخطىٰ الحواجز؛ علىٰ نحو مؤلم، بل وربما خطير أقولها ببساطة: إن الحياة دائما ما تجد وسيلة ما للاستمرار.

من المسلَّم به أن الدكتور إيان مالكولم شخصية خيالية؛ اقرأ الفقرة ثانية علىٰ أحسن وجه، وستجد أن جيف جولدبلوم Jeff Goldblum يتنبأ بمصير الحديقة الجوراسية علىٰ نحو متعجرف، إلا أن القضية اتضحت جيدا[١]

ولكن ثمة مشكلتان في هذا الاعتراض. فالظروف التي واجهتها الحياة علىٰ الأرض ليست لا تمثل ظروف نطاق فضاء متغيرات (parameter space) الأكوان الأخرىٰ عن بعد. بل إنها حتىٰ لا تمثل ظروف مجرتنا. ولنضرب مثلا بالحرارة. يمكن للحياة أن تظل وتبقىٰ نشطة بين -٢٠ درجة مئوية و١٢٢ درجة مئوية. ومعظم الفضاء النجمي ساخن[٢]، حيث تبلغ درجات الحرارة فيه ما بين ستة

---

(١) قد تجد أنك تقرأ الفقرات التالية علىٰ لسان جيف جولدبلو Jeff Goldblum. وهذا عادي جدا.

(٢) قد يكون هذا الأمر مدهشا بالنسبة لك؛ لأننا دائما ما نتصور الفضاء علىٰ أنه بارد. ولكن درجة حرارة الفضاء النجمي تتحدد بفعل التوازن الناشئ بين عمليات التسخين والتبريد. ففي بيئة مشوشة كهذه، تكون عمليات تبريد الغاز قاصرة جدا عندما تكون تحت درجة حرارة خمسة آلاف درجة مئوية تقريبا. =

آلاف وعشرة آلاف درجة مئوية، فيما عدا السحب الجزيئية الكثيفة حيث تبلغ درجة حرارتها -٢٦٠ درجة مئوية. وعلاوة علىٰ ذلك، فإن الفضاء النجمي أقل كثافة بتريليون مرة من أكثر مناطق غلافنا الجوي هشاشة والتي قد عُثِرَ فيها علىٰ ميكروبات. وهذا يجعل الأرض تبدو معتدلة.

ونحن لم نستنتج في أي من فصول هذا الكتاب أن كونا بديلا لم يكن ليسمح بالحياة بسبب ضغطه وملوحته وحامضيته، أو بسبب أن درجة حرارته ستجعل أدق الميكروبات وأشدها تتصبب عرقا. فإن طرفي نطاق المعاملات ليس أحدهما ساخنا والآخر باردا وحسب؛ بل إنهما يحللان الذرات، ويوقفان جميع التفاعلات الكيميائية، ويسحقا الثقوب السوداء، وينتج عنهما حياة منعزلة إلىٰ الأبد في كون تصطدم فيه الجسيمات كل تريليون سنة تقريبا.

والمشكلة الثانية هي أن الكائنات الأليفة للظروف القاسية عبارة عن تكيُّفات. فهي تظهر الظروف التي يمكن للحياة أن تبقىٰ فيها، لا أن تنشأ فيها. فبالنظر إلىٰ التكيفات التي واجهتها الحياة علىٰ مدار الأجيال العديدة الماضية، فإن الظروف التي نشأت فيها الحياة علىٰ الأرض هي علىٰ الأرجح أكثر اعتدالا بكثير من تلك الظروف القاسية التي وصلت إليها منذ ذلك الحين.

وهذا تبرز المشكلة. فهذه الكائنات الأليفة للظروف القاسية تظهر لنا ما يمكن للتطور فعله. بيد أن هذه ليست هي القضية علىٰ الإطلاق. وإنما السؤال يدور عما يحتاج الكون إلىٰ فعله لكي تنشأ الحياة وتتطور. فبينما الخلية المفردة شيء بسيط في علم البيولوجيا، إلا أنها معجزة كيميائيًا. كما أن الكيمياء بحاجة ماسة إلىٰ الفيزياء. فالأمر يستلزم كونا مضبوطا بدقة لإنتاج جميع تلك المواد الكيميائية وتتجمع علىٰ كوكب يبعد مسافة آمنة عن مصدر مستقر للفوتونات النشطة التي يمكنها إمداد البناء الضوئي، وغيره من العمليات.

= ومن ثم، فإن الأثر المشترك لكل من الإشعاع النجمي والأشعة الكونية والمستعرات العظمىٰ يبقي الغاز ساخنا جدا. ومع ذلك، فنظرا لأنه رفيع ومتفشي جدا؛ لن يبدو ساخنا إذا تصرفت علىٰ نحو أخرق وأخرجت رأسك من نافذة المركبة الفضائية.

حيث إن طاقات التطور الدارويني ليست مجانية. فإن التطور يبدأ في آلية بيوكيميائية قادرة علىٰ اجتذاب الطاقة والأملاح المعدنية من بيئتها لأجل صناعة نسخة طبق الأصل من نفسها -بما في ذلك نسخة تكاد تكون مطابقة من معلوماتها الجينية- وذلك في بيئة يوجد بها تنافس علىٰ الموارد. كما أن القدرة التي تبدو قاصرة لكوننا علىٰ إنشاء تلك المخلوقات -القادرة علىٰ التطور الدارويني- هو عين ما نحاول تفسيره.

الاعتراض السادس: كيف للكون أن يكون «مضبوطًا بدقة» في حين أن معظمه غير موات للحياة؟

التعقيب الوارد: مضبوط بدقة؟ لا بد وأنك تمزح: إن ٩٩.٩٩٩٩٩ في المائة من الكون عبارة عن فراغ ملئ بالإشعاع. ومعظم المادة غير موات: فهي عبارة عن غاز متفشٍّ لدرجة تصيب بالاختناق وهو إما أن يكون باردًا لدرجة لا يمكن تصورها (-٢٦٠ درجة مئوية) أو ساخنا لدرجة الاستعار (مليون درجة مئوية)، ونجوم نووية حرارية وثقوب سوداء تسحق المادة، وكل هذا يعني أنه لن ينفجر أي من المستعرات العظمىٰ العارضة أو أشعة جاما. حيث إن معظم الكون غير موات، كما أن الأجزاء المواتية قاصرة جدا عن خلق حياة. فمن المؤكد أن هذا الكون لا يبدو مضبوطا بدقة لأجل الحياة.

الرد الموجز: هذا الاعتراض يقارن الظروف التي علىٰ الأرض بالظروف التي في غيرها من الكون، ومن ثم يخطئ الهدف تماما. فنحن نريد أن نعلم السبب في أن لهذا الكون ما له من خواص أساسية. ولذا فنحن نقارن هذا الكون بغيره من الأكوان الممكنة، لا مجرد مواقع مختلفة من الكون. وعلاوة علىٰ ذلك، فإن حجم الكون وفراغه النسبي ليس عديم الصلة بالحياة. فالأكوان الأصغر والأشد كثافة تميل إلىٰ عدم البقاء طويلا

الرد المفصل: إن قولنا: «يسمح بالحياة» ليس معناه أنه «مليء بالكائنات الحية عن بكرة أبيه منذ بدايته وحتىٰ نهايته. وليس معناه أن كل زمان ومكان في

هذا الكون يسمحان بالحياة[١] وليس معناه أنه بوسعك بسط كرسيك المداد حيثما شئت مسترخيًا ومنتظرًا شرابك أن يجهز.

ومن ثم، فإن ما تم رصده من أن الكون مضبوط بدقة لأجل الحياة لا يحل مفارقة فيرمي التي تثير هذا التساؤل: أين الجميع؟ إذا كانت الأرض قد طورت أشكالا من الحياة الذكية التي قد تصير قادرة قريبا علىٰ السفر إلىٰ خارج المجموعة الشمسية واحتلال المجرة؛ فلماذا لا نرىٰ دليلا علىٰ حضارات فضائية أخرىٰ؟ هل نحن أول حضارة؟ هل نحن الوحيدون في المجرة؟ هل الحضارات الذكية تتدمر ذاتيا قبل مغادرتها كوكبها الأصلي؟ فالضبط الدقيق يخبرنا بأن لكوننا بعض الظروف الفيزيائية الضرورية التي تسمح بالحياة. وهو لا يخبرنا عما إذا كانت الحياة ستنشأ فعليا في كل أرجاء الكون[٢]

تذكر سبب بدئنا تفحص قوانين الطبيعة في المقام الأول: تبدوا معادلاتنا مغير مكتملة، وبها ثوابت لا يمكننا حسابها. لماذا يبدو كوننا علىٰ هذا النحو؟ بحثنا عن تلميحات من خلال مقارنة كوننا بأشقائه وأقاربه وغير ذلك. وتوصلنا إلىٰ أن القليل جدا من أفراد عائلته هم وحدهم القادرين علىٰ تطوير وإبقاء أحد أشكال الحياة الذكية التي قد تتساءل تلك الأسئلة في المقام الأول.

ورغم أن بعض أجزاء هذا الكون لا تدعم الحياة، إلا أن هذه ليست هي القضية. فمن المؤكد أنك لو استطعت فهم سبب عدم قدرة الحياة علىٰ الوجود في الفراغ القريب للفضاء النجمي؛ لاستطعت فهم سبب احتياج الحياة لكون مضبوط بدقة. فلو كان الثابت الكوني أكبر قليلا أو كان ثابت عدم التجانس الكوني (Q) أصغر قليلا؛ لم يكن ليوجد سوىٰ فراغ الفضاء النجمي، من دون أية نجوم أو كواكب علىٰ الإطلاق! كما أن المادة غير المواتية للحياة أمر يسير؛ لكن وجود ظروف مواتية للحياة في أي مكان من الكون خاصية نادرة جدا.

---

(١) تجدر قراءة هذا الاقتباس من كتاب الأكوان (١٩٨٩) ص. ١٥٩ لجون ليزليز John Leslie.

(٢) ومن المؤكد أن هذا ليس معناه أن السؤال عن الحياة في مكان آخر من الكون ليس سؤالا رائعا ومهما؛ انظر كتاب (Eerie Silence) لبول ديفيز ٢٠١٠.

وعلاوة علىٰ ذلك، فإن كونه «مضبوطا بدقة» لا يعني أنه يحوي أقصىٰ كمية من الحياة في منطقة معينة، أو أنشأ جميع الحياة التي يمكن إنشاؤها من خلال مجموعة معينة من الجسيمات. وقد يكون ثمة أجزاء أخرىٰ من نطاق المعاملات تجعل الحياة أكثر كفاءة. فعلىٰ سبيل المثال، من المعقول أن الكون الذي ثابته الكوني يساوي صفرا (في مقابل ثابتنا الكوني الصغير) يضم المزيد من جسيماته العادية في مجرات أكثر مما يحدث في كوننا، وبالتالي يجعل الحياة أكثر كفاءة بقليل من كوننا.

فقد لا يكون كوننا مكتظا -عن بكرة أبيه- بالحياة. ولكن -مرة أخرىٰ- ليست هذه هي القضية! تأمل المشهد الشاسع للأكوان الممكنة. تجد أنها مليئة بركام من الأكوان الميتة الرتيبة البسيطة التي لا حياة فيها وجميعها لم يرصد. بينما تبرز بدقة سلاسل جبلية من الحياة نادرة ورفيعة من بين الوحل. وربما لو استعملنا العدسة المكبرة لاكتشفنا أننا لسنا في ذروة السنام بالضبط. وهذا لا يعفينا من تفسير موضعنا الغريب جدا. فلا يزال بحوزتنا حقيقة غريبة جدا تبدو قابلة للتفسير رغم أنها لم تُفسَّر بعد.

لماذا علينا الاكتراث بأن أجزاء من الكون ليست ملائمة تماما؟ افترض أنك تعمل علىٰ مكتب استقبال بمنتجع فاره علىٰ قمة جبل. بينما يسجل بوب -الذي هو عميل ثري- دخوله إلىٰ الفندق.

أنت: ستكون في الغرفة رقم ٤٠١ يا سيدي -بالطابق العلوي- حيث المناظر الخلابة التي تطل علىٰ الجبل بأكمله، ويمكنك في الأيام الصافية أن ترىٰ المحيط.

بوب: أوه، هذا ليس جيدا! لا أريد أن يكون بوسعي رؤية المحيط.

أنت: لم لا؟

بوب: لأنني لا أستطيع السباحة.

ولأنك مدرب جيدا ومهذب، ستحجز غرفة أخرىٰ لبوب. ولكن في يوم أكثر هزلًا، قد تتحفز إلىٰ السؤال عن السبب في مشكلة أنه من خلال هذه الغرفة

يمكن لبوب أن يرىٰ مكانا ما -علىٰ بعد أميال من هنا- وأن هذا قد يكون غير ملائم له. كيف لهذا أن يعيب الغرفة؟ سيكون عليه أن يستثمر وقتا وموارد وجهدا كبيرا في الاقتراب من هذا المحيط الرهيب. وحتىٰ لو كان لدىٰ بوب خوفا شديدا من الغرق، فهذا ليس سببا لتقييم الغرفة تقييما سيئا علىٰ موقع (ratethathotel.com).

وبالمثل، لماذا قد يعيش أي أحد في أستراليا؟ فمعظمها صحراء! صحيح، ولكن بعض المناطق غير الصحراوية جميلة جدا.

فإذا كان لا يمكنك العيش في الفضاء. ما شأنك وهذا؟ فأنت علىٰ الأرض. أنت عالق هنا بالأسفل ولديك الإمدادات اللازمة من الأكسجين والماء. وسوف يستغرق تجربة مشقة الفراغ وقتا كبيرا ومالاً وفيرا وتكنولوجيا متطورة.

في الواقع، بإمكاننا إلقاء نظرة علىٰ السبب في أن كونا فارغا نسبيا -حتىٰ وإن لم يكن ضروريا تماما- ليس غريبا جدا بالنسبة للحياة. فالأمر متعلق بالكثافة اللازمة للحياة وسحق الجاذبية.

تأمل كرة من المادة. تجد أن الجذب الكلي للجاذبية سيعمل علىٰ سحقها. ومن دون وجود قوة أخرىٰ تقاوم الجاذبية، ماذا ستكون مدة بقائها؟ لقد اتضح أن هذا يعتمد علىٰ كثافة الكرة وحسب؛ فكلما كانت أكثر كثافة، زادت سرعة سحق الجاذبية. وحتىٰ لو كانت الكرة ضخمة، فعند نفس الكثافة، لن تفيد زيادة الحجم سوىٰ زيادة الكتلة التي تستخدمهما الجاذبية.

فلربما تتمنىٰ لو أن الكون بأسره يحوي هواء ذا كثافة صالحة للتنفس. وتكمن المشكلة في أن الوقت الذي يستغرقه انهيار منظومة بهذه الكثافة هو ٢٤ ساعة تقريبا. فالكون الذي كان جميلا يوما ما، صار نسيا منسيا في اليوم التالي.

والآن، يمكن تفادي هذا الانهيار من خلال جعل هذا النظام يتوسع. والمشكلة هي أنه بحلول يوم ما في هذا الوقت يكون هذا هو الوقت القياسي اللازم لتغير كثافة الكون جذريا. وفي الوقت نفسه من اليوم التالي، سيصبح هذا الهواء القابل للتنفس صافيا أكثر من اللازم.

وبالمناسبة، فإن الهواء في هذه الغرفة ينجو من هذا المصير بواسطة دعم الأرض له. وكذلك الأرض لا تنهار بفضل صلابة الذرات؛ فهي مدعومة بضغطها الداخلي. ولا يمكن للأجسام المدعومة بهذه الطريقة أن تكون أكبر من الأرض بكثير، ولا بد من إحاطتها بفضاء فارغ.

لنسلك مسلكا بعيدا، ماذا عن كون دائري؟ ماذا لو استلهمنا فكرة من المجموعة الشمسية، وفرضنا استقرار الكون بأكمله من خلال جعله يدور؟ قد يكون هذا خيارا صالحا لو كان كوننا محكوما بجاذبية نيوتن، لكن الأمور تختلف في جاذبية أينشتاين. تختلف جذريا، حتىٰ بالنسبة لأينشتاين نفسه.

ففي عام ١٩٤٩، احتفل أينشتاين بعيد ميلاده السبعين في مؤتمر أقيم لتكريمه. وكان من بين الحضور أحد أصدقائه المقربين، وهو كورت جوديل Kurt Gödel عالم المنطق النمساوي الشهير والمعروف بأنه غريب الأطوار. وقد اشتهر جوديل بمجهوده الإبداعي فيما يخص منطق الرياضيات، ولكنه لم يساهم في مجال الفيزياء قبل عام ١٩٤٩. عندئذ قدم لأينشتاين هدية غير تقليدية؛ ألا وهي حل لقوانين الجاذبية لأينشتاين يصف كونا دائريا. ومفاد هذا الحل أن الكون لا يحوي سوىٰ مادة وثابت كوني، ولا يتغير بمرور الزمن فيما عدا دورانه.

يبدو هذا نموذجيا: فإذا ملأت هذا الكون بالهواء؛ سنتمكن من التنفس بسهولة في أي مكان من الكون. ومع ذلك، كان لدىٰ كون جوديل سمة غريبة، ألا وهي منحنيات مغلقة شبه زمنية.

تذكر أنك في كون نسبي لا تستطيع السفر بسرعة تفوق سرعة الضوء. فمسار الطيران الافتراضي عبر الزمان والمكان، هذا المسار الذي يجعلك تغادر في الخامسة مساء لأخذ الغسيل من - رجل القنطور- ألفا سنتوري[1] وتعود إلىٰ

(١) منظومة ألفا سنتوري هي أقرب نظام كوكبي، نجمي، لنظامنا الشمسي وتبعد عنا حوالي ٤.٣٧ سنة ضوئية -المترجم-

المنزل للعشاء لا يمكن لأي مركبة فضائية أن تسلكه فعليا. فالمسارات التي يمكنك السفر خلالها -مع وجود حزمة صاروخية مناسبة- تعرف بالمسارات الشبه زمنية.

وعلاوة علىٰ ذلك، فإن المنحنىٰ المغلق عبارة عن حلقة؛ فهو يعود إلىٰ حيث بدأ. ولذا فإن منحنىٰ الزمكان المغلق لا يعود إلىٰ حيث بدأ وحسب، ولكن إلىٰ وقت بدئه أيضا. فهي رحلة تعود إلىٰ المكان والزمان نفسه.

ولذا فعند جمع كل من المنحنىٰ المغلق والآخر الشبه زمني يسافر الزمن! وفي كون دائري، يمكنك زيارة المكان نفسه والزمان نفسه أكثر من مرة. فيمكنك خوض مباراة شطرنج مع نفسك.

وبالنسبة لكاتب الخيال العلمي، كل هذا يبدو عظيما، ولكن احذر المفارقة الجد سيئة السمعة. ماذا لو غادرت الحاضر في سفينتي الفضائية، مسافرا عبر الزمن إلىٰ الماضي، وصدمت جدي أنا عندما كان صبيا! لم أكن لأولد عندئذ، ولم أسافر عبر الزمن إلىٰ الماضي، ولم أكن لأقتل جدي، وكذلك عندئذ كنت سأولد، وأسافر عبر الزمن إلىٰ الماضي، وأصدم

ليس كل الأكوان التي تسمح بالسفر عبر الزمن تصل بنا إلىٰ مفارقات، طالما أننا نسعىٰ لبناء تاريخ متسق. فإذا تفادت سفينتي الفضائية الاصطدام الوشيك بجدي؛ نكون بهذا قد تجنبنا الوقوع في مفارقة. وفي كون كهذا، لن يغير السفر عبر الزمن شيئا من الماضي: فليست القضية أن جدي كان في حياته الأساسية، ثم وُلِدت أنا، ثم عدت بالزمن للماضي، ثم نجا جدي بحياته من خلال التفادي الوشيك للسفينة الفضائية، والتي تحل محل السيناريو الأصلي. بل لا يوجد سوىٰ ماض واحد، وإطار زمني واحد، والذي تفادي جدي الاصطدام فيه بسفينة فضائية يقودها شاب يبدو مألوفا بعض الشيء. ولكن هذا التاريخ المتسق يستلزم الكثير من الترتيب. فلا يمكن لأحد أن يبدأ تشغيل الكون ببساطة ثم يدع قوانين الطبيعة تحركه. فلتجنب المفارقات؛ يلزم وجود وثاق شديد الإحكام.

ومن غير الواضح بالنسبة لنا كيف لأفراد مثلنا أن تعيش في كوكب كهذا. حيث إن أفعالنا ستكون مقيدة بقواعد ولوائح غير محلية وغير قابلة للاكتشاف وإنما هي عالمية ومحيرة علىٰ عكس قوانين الطبيعة. فحينئذ سيحتاج المرء إلىٰ معرفة كل شيء عن تاريخ الكون بأسره لكي يعلم سبب تصرف أي جزء منه علىٰ هذا النحو. فعلىٰ سبيل المثال، قد أنظف أسناني بالأمس، إلا أنني أجد نفسي - علىٰ خلاف العادة- عاجزا عن ذلك اليوم. ومن دون أن يكون لدي أدنىٰ فكرة، لا بد وأن الكون قد حاك مؤامرة لكي يمنع الفوتونات -التي كانت ستصطدم بمعجون الأسنان وترتد إلىٰ خارج النافذة- من أن تجوب الكون، وترجع إلىٰ الماضي وتشتت انتباه جدي الشاب أثناء قيادته؛ مما يسفر عن وفاته.

وقد ضمنا هذه الملاحظة لسببين: الأول، أن النموذج الكوني الدائر لجودل رائع. والثاني: أن شأن بناء الكون هذا أصعب مما يبدو. فبعض الأفكار البسيطة -كالدوران- قد يكون لها آثار مثيرة. ولذا فنحن بحاجة إلىٰ العودة إلىٰ المعادلات؛ وهذا ما يفعله الضبط الدقيق.

ختام الملحوظة: إن ملء الكون بهواء صالح للتنفس يترتب عليه عدد من المشكلات الأخرىٰ المحتملة. فسوف يسافر جسيم الضوء نحو مائة كيلومتر في الهواء قبل أن يتلاشىٰ. ومن ثم، ففي كون مليء بالهواء الصالح للتنفس، لن نكون قادرين علىٰ رؤية القمر، ناهيك عما وراءه. فسوف نعيش في ضباب. ولن تصل الطاقة الآتية من الشمس إلىٰ الأرض مباشرة، وإنما سيكون عليها تسخين الهواء الذي بينهما.

وعلاوة علىٰ ذلك، ستكون رحلات الفضاء بطيئة جدا وغير مجدية. فبدلا من قدرة المركبات الفضائية علىٰ الإبحار في فضاء نجمي شبه فارغ، سيكون عليها السير بطيئا كالمحراث عبر هذا الهواء كله، بينما تستهلك الوقود طوال الطريق. ورغم أنه ربما تستطيع العيش مع استحالة السفر عبر الفضاء، إلا أن الأرض لا تستطيع ذلك؛ فسوف ترسل بها مقاومة الهواء علىٰ نحو دائري إلىٰ الشمس في غضون أشهر قليلة.

من الممكن أن نواصل حديثنا في هذا الصدد، ولكن يكفينا أن نقول إن تصميم هذا الكون ليس هدرا للمكان. بل إن هذا الفراغ -سواء علمت ذلك أم لا- يؤدي دورا في جعل كوننا صالحا للحياة وقابلا للاكتشاف.

الاعتراض السابع: إن هذا الكون شأنه في بعد احتماليته شأن أي كون آخر

التعقيب الوارد: قطعا، هذا الكون بعيد الاحتمال. ولكن أي كون بعيد الاحتمال أيضا. فلو صادف أننا كنا في أحد الأكوان العديدة الممكنة، سيظل كوننا يبدو غير محتمل بعض الشيء أيضًا. فما من سبب إذن للوصول إلىٰ استنتاج ما من خلال عدم احتمالية كوننا.

الرد الموجز: ليس المسألة احتمالية كوننا هذا مقارنة باحتمالية أكوان أخرىٰ. وإنما، علينا دراسة احتمالية كوننا هذا في ضوء نظريات مختلفة توضح كيفية وجود هذا الكون علىٰ هذه الكيفية. فنحن نستخدم ما نعلمه عن الكون لاختبار أفكار عن قوانينه ونشأته.

الرد المفصل: يفترض هذا الاعتراض مسبقا مبدأ عاما، وهو: حيثما تتساوىٰ احتمالية نتيجتين في ضوء فرضية ما، يكون رصد إحدىٰ النتيجتين دون الأخرىٰ ليس سببا لرفض تلك الفرضية. فعلىٰ سبيل المثال، إذا كانت احتمالية فوز بوب وجين في باليانصيب lottery متساوية -بفرض أن كليهما لعب بنزاهة- فإن حقيقة فوز جين باليانصيب ليست مبررا لاتهامها بالغش.

في حين أن هذا الاستنتاج تحديدا صحيح، إلا أن المبدأ العام خاطئ. ولإثبات ذلك، نحن بحاجة إلىٰ ضرب مثال مقابل. فلن يكون هذا مبدأ عاما إذا فشل بين الفينة والأخرىٰ.

إليك المثال المقابل. افترض أن بوب وجين يلعبان القمار poker. وفي آخر خمسة أيادٍ كونها بوب، حصل جين علىٰ أياد عادية: زوج، وملك، وزوج، وزوج آخر، وجاك. في حين حصل بوب علىٰ رويال فلاش خمس مرات متتالية.

فيرتاب جين. حيث إن احتمالية حصول بوب على رويال فلاش خمس مرات باعتبار أنه يلعب بنزاهة، تبلغ نحو واحد في مائة مليار مليار. ولكن بوب يحتج وهو يرى حاجب جين المرفوع قائلا: إن مجموعته ذات الخمسة أيادي شأنه في بعد الاحتمال شأن مجموعة جين[١] فأي مجموعة من الأيادي بعيدة الاحتمال. فما من سبب إذن للاعتقاد في أن بوب يغش.

من الواضح وقوع خطأ ما هنا، وهذا كاف لاستنتاج خطأ المبدأ العام. في الواقع، انظر إلى محل الخطأ تحديدا. تكمن المشكلة في أننا حسبنا جميع احتمالاتنا وفقا لافتراض أن بوب يلعب بنزاهة. ولكن هذا عين ما نشكك فيه! فالذي ينبغي علينا هو مقارنة احتمالية لعب بوب بنزاهة مع احتمالية غشه في اللعب.

وبالنظر إلى أن رويال فلاش لا يمكن هزيمته، فاحتمالية حصول لاعب غشاش عليها أعلى بكثير من احتمالية حصول لاعب نزيه عليها. وفي المقابل، ليس لدى مجموعة أيادي جين أية أفضلية محددة؛ ولذا يترجح لعبها من قبل لاعب نزيه أكثر من لاعب غشاش. فالفرق بين تلك الاحتمالات هو الذي يتضمن أن بوب يغش على الأرجح[٢]

وبتطبيق هذا على الضبط الدقيق، لا تصح عبارة «هذا الكون شأنه في بعد الاحتمال شأن غيره من الأكوان» إلا إذا افترضنا أن خواص كوننا عشوائية أو هي ببساطة واقع أعمى لا تفسير له. وهذه هي عين الأفكار التي نختبرها. فينبغي أن ندرس تفسيرات بديلة لخواص كوننا.

---

(١) تأكد من حساب احتمالية كل يد على حدا (مثل: 4 ,5♦ ,10♠ ,Q♠ ,♥ k♦)، وليس فقط يد الملك.

(٢) ولكي نستبق اعتراضا شهيرا، نذكر القارئ بأن هذا مثال مقابل، وليس قياسا. فنحن لا نقول بأن الكون يشبه لعبة البوكر. ولكن التباينات بين الأكوان والألعاب البوكر «صحيح، مع أن ألعاب الورق اللعب لديها قواعد» لا تبطل المثال المقابل.

الاعتراض الثامن: كيف لنا أن نعلم بما قد يحدث في أكوان أخرىٰ؟ اذهب وجرِّب!

التعقيب الوارد: لا بأس بالتنظير العلمي، ولكن القوة الحقيقية للعلم تنبع من اختبار نظرياته. فنحن نرصد ونجري تجارب لكي نجمع المعلومات. ثم نقارن تلك المعلومات بنظرياتنا لنرىٰ أيها يمكنه تفسير البيانات وأيها تم استبعاده. وكل هذا الحديث عن الأكوان الأخرىٰ يستحيل اختباره ببيانات واقعية؛ ولذا فإن الضبط الدقيق ما هو إلا تكهن لا طائل منه، وليس علما.

الرد الموجز: إن مقارنة نظرياتنا ببيانات كوننا هي جز من الفيزياء، وهي جزء أصيل منها. ولكن لكي يحدث ذلك، نحتاج إلىٰ نظريات في المقام الأول! وسوف نرغب تحديدا في نظريات بسيطة ورائعة ذات افتراضات مبهمة قليلة. وكثير ما تتقدم الفيزياء من خلال العثور علىٰ نظرية أكثر إحكاما، مع قدرتها علىٰ تفسير البيانات. ولذا نتساءل: هل ثمة شيء جدير بالملاحظة أو فريد فيما يخص أجزاء قوانين الطبيعة غير المفسرة -علىٰ حد علمنا بها- من شأنها التلميح إلىٰ أمر أعمق؟ ويبدو أن الضبط الدقيق هوا هذا التلميح بعينه.

الرد المفصل: إن استكشاف نظرياتنا العلمية هو أحد أهم مهمات المتخصص في الفيزياء النظرية. فعلىٰ سبيل المثال، نشر أينشتاين نظرية النسبية العامة عام ١٩١٥ ولا نزال نحاول تطبيق سائر ما تضمنته.

فبمجرد حصولنا علىٰ معادلات نظرية ما، يمكننا محاولة حلها. وتمثل حلول معادلات الفيزياء أكوانا محتملة. ويمكننا استخدام البيانات في محاولة العثور علىٰ الكون الفعلي من بين الاحتمالات، بيد أن الأمر أكثر من هذا بالنسبة للفيزياء النظرية. فنحن نؤمن بأن النظريات الناجحة تخبرنا بشيء ما عن كوننا. فما الذي تخبرنا به النظرية العامة للنسبية عن الزمكان، وعن باطن الثقوب السوداء، وعن المراحل الأولىٰ للكون؟

في الماضي، تطورت الفيزياء من خلال ملاحظة شيء ما غريب بشأن قوانين الطبيعة علىٰ حد معرفتنا بها. وأحيانا، لا تتوافق مع ما المرصودات

الجديدة ببساطة. ولكن أحيانا، لكي تتوافق البيانات، نضطر إلىٰ وضع افتراض مريب.

وخير مثال علىٰ هذا نظرية الجاذبية. فحين ألقىٰ رائد فضاء أبولو ديفيد سكوت مطرقة وريشة علىٰ سطح القمر، حيث لا توجد مقاومة هواء، ارتطما بالأرض في الوقت نفسه. فلماذا؟

في نظرية الجاذبية لنيوتن، ثمة مفهومان مختلفان للكتلة. حيث توجد كتلة قصورية (inertial mass) والتي تقيس صعوبة دفع جسم ما. كما توجد كتلة جاذبية، والتي تقيس صعوبة رفع جسم ما. ومن حيث المفهوم، لا يوجد ارتباط ضروري بين الكتلة القصورية والأخرىٰ الجاذبية. فلكي نقيس الكتلة القصورية، يمكننا استخدام أي قوة (كالمغناطيس مثلا) ونسجل كيفية استجابة الجسم.

ومع ذلك، فلكي نفسر حالات مثل المطرقة والريشة، لا بد وأن تفترض نظرية الجاذبية لنيوتن -لهذا السبب وحسب- أن الكتلة القصورية والأخرىٰ الجاذبية متساويان تماما لدىٰ جميع الأجسام التي في الكون. وهذه محض مسلَّمة. وهي ليست مستحيلة، ولا تتعارض مع ما تم رصده، ولكنها مريبة.

وبمحض التفكير النظري لأينشتاين، أظهر معالم الطريق نحو الأمام. فقد تعامل أينشتاين مع الجاذبية علىٰ أنها قوة، والتي تجعل الأجسام تتحرك في مسارات منحنية. وقد فكر أينشتاين في سؤال: ماذا لو غيرت الجاذبية الهندسة نفسها؟ ماذا لو جعلت الجاذبية الأجسام تتحرك في خطوط مستقيمة في فضاء منحنٍ؟ في هذه الحالة، لأن مسار الجسم لن يعتمد سوىٰ علىٰ الخواص المحلية للزمان والمكان، فسوف تسقط الأجسام ذات الكتل المختلفة بنفس المعدل. وبهذا فسر أينشتاين حالة المطرقة والريشة من دون مسلَّمات إضافية مريبة.

الشاهد: حينما تستلزم نظرية ما مسلَّمات محددة جدا لكنها غير مفسرة لأجل تفسير البيانات، ربما يكون هذا تلميحا. وربما علينا البحث عن نظرية أعمق بحيث يتم تفسير المسلَّمة في ضوئها أو تنشأ بصورة طبيعية.

ووجود الحياة في كوننا ما هو إلا واقع مريب. فهو يتطلب عدد كبير من المصادفات الدقيقة بين أجزاء قوانين الطبيعة غير المفسرة: الثوابت والظروف الأولية. فهل بوسعنا العثور علىٰ نظرية معقولة أعمق لتفسير سبب سماح كوننا بالحياة؟

الاعتراض التاسع: إن القائلين بالضبط الدقيق لا يديرون سوىٰ مفتاح واحد كل مرة

التعقيب الوارد: كل حالات الضبط الدقيق هذه تتضمن إدارة مفتاح واحد كل مرة، مع الإبقاء علىٰ ثبات جميع القيم الأخرىٰ في كوننا. ولكن ربما لو رأينا ما وراء الكواليس، لرأينا ساحر أوز يحرك المفاتيح مع بعضها. فلو حركت أكثر من مفتاح كل مرة، سيظهر عدد من الأكوان التي تسمح بالحياة. ومن ثم، فإن الكون ليس مضبوطا بدقة لأجل الحياة.

الرد الموجز: بدأ هذا المجال حينما لاحظ الفيزيائيون مصادفات بين قيم عدد من مختلف الثوابت ومستلزمات الحياة. فالحياة تستلزم ارتباط عدد من الثوابت المختلفة ببعضها بطرق عجيبة ودقيقة.

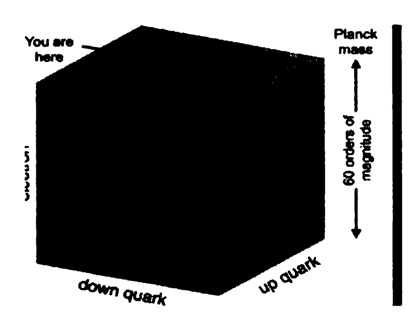
الرد المفصل: هذه خرافة باقية علىٰ نحو مدهش، وهي ليس لها أي أساس واقعي. فما من مرة قامت فيها بحوث الضبط الدقيق بتغيير معامل واحد فقط.

فإن ورقة البحث الرئيسية الخاصة بالمبدأ الإنتروبي، التي قدمها براندون كارتار عام ١٩٧٤ توصلت إلىٰ علاقة غريبة بين كتلة البروتون وكتلة الإلكترون وشدة الجاذبية وشدة الكهرومغناطيسية[١] حيث يمكن للنجوم نقل الطاقة من بواطنها الحارقة نوويا إلىٰ سطحها بطريقتين مختلفتين: علىٰ هيئة إشعاع، أو من خلال تيارات موصلة يرتفع فيها الغاز الدافئ ويهبط الغاز البارد في شكل دورات. وفي الأكوان التي تتفق مع مصادفة كارتار، يمكن وجود كلٍّ من نوعي

---

(١) إذا كنت فيزيائيا أو علىٰ متخصصا في الرياضيات، فاستمتع إذن: ما من سبب معلوم لارتباط أي من تلك الأرقام بغيره، ومع ذلك تسري المصادفة علىٰ نحو ١٥%: ١ ٧ × ١٠-٤ ≈ ٦.٢ × ١٠-٤.

النجوم. وقد تنبأ كارتر بأن الحياة تستلزم كلا من النوعين من أجل إنتاج العناصر الثقيلة وتشكل الكواكب.



شكل ٤٠: جهاز رسم مخططات ثلاثية الأبعاد يمثل «نطاق المعاملات». لكي نصور القيم الممكنة لكتل الجسيمات الأساسية، نتخيل اختيار نقطة داخل المجسم. وكلما أدرنا المفاتيح واخترنا كتلا مختلفة، تتحرك علامتنا عبر المجسم. أين يمكن للحياة أن تزدهر؟

أظهر الفيزيائيان ويليام بريس وآلان لايتمان عام ١٩٨٣ أن المصادفة نفسها لا بد وأن تسري علىٰ النجوم لكي تنبعث منها الفوتونات بالطاقة المناسبة لإمداد التفاعلات الكيميائية بالطاقة. فيا لها من مصادفة؛ بالنظر إلىٰ عدد الأزرار الكونية التي لا بد من ضبطها وفقا لمقدار طاقة فوتون الضوء الناشئ عن نجم ما بحيث يكون مساويا تقريبا لطاقة الروابط الكيميائية.

والغرض من هذه العلاقة وغيرها الكثير مما يشبهها -والتي تعنىٰ بها جميع الدراسات السابقة عن الإنتروبيا- هي أنها تربط عددا من الثوابت الأساسية المختلفة.

وقد أظهرت الدراسات الأحدث أن تدوير العديد من الأزرار عادة ما يكون مدمرا تماما شأنه في ذلك شأن تدوير زر واحد. افترض أننا ندير أزرار الكوارك العلوي والآخر السفلي وكتلة الإلكترون. تذكر أنك مصنوع من تلك الجسيمات الثلاثة: فإن كواركين علويين وآخر سفلي يكونان البروتون، وكوارك علوي وآخرين سفليين يكونان النيوترون.

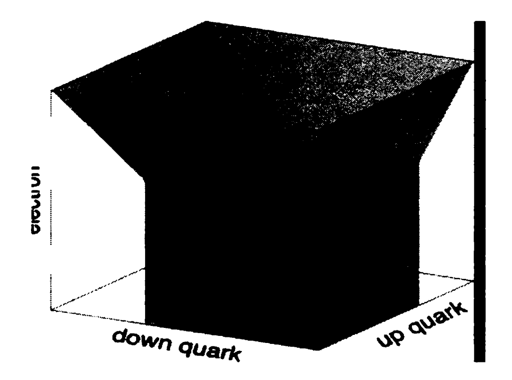
تصور الشكل ٤٠ علىٰ أنه جهاز رسم مخططات ثلاثية الأبعاد، بحيث يضبط أحد أزراره كتلة الكوارك العلوي، والثاني يضبط كتلة الكوارك السفلي، والثالث يضبط كتلة الإلكترون. وريثما تنتهي من ضبط الكتل، تصبح العلامة في نقطة محددة من المجسم. فعندما يتحدث الفيزيائيون عن «نطاق المعاملات»، يقصدون بذلك شيئا قريبا مما تصورناه.

فما هي نطاقات أزرارنا؟ أو بتعبير آخر، ما مدىٰ اتساع مجسمنا؟ علىٰ أقل تقدير، يمكن أن تبلغ كتلة الجسيمات صفرا، كالفوتون مثلا. فماذا عن أقصىٰ تقدير؟ هنا تزداد الأمور تعقيدا، ولا ثمة علىٰ الأقل حدٌّ راسخ لمعرفتنا. في اللحظة الحالية، ليس لدينا نظرية جاذبية كمومية. أي أننا لا ندري ما سيحدث حين تنجذب الأشياء الكمومية -كالجسيمات- إلىٰ بعضها بفعل جاذبيتها (كما في ثقب أسود). ومن خلال حسبة بسيطة نجد أن جسيما تبلغ كتلته كتلة بلانك سوف يصبح ثقبا أسود لنفسه. فهذه إذن هي الكتلة العظمىٰ التي يمكن لنظرياتنا -الجاذبية الكمومية الغائبة- أن تتناولها. وتبلغ كتلة بلانك تقريبا ضعف كتلة الإلـكـتـرون بــ ٠٠٠ ٢٤. (١٠٢٢ × ٢.٤) مرة.

وهذه الكتلة كبيرة جدا لدرجة أنه للمساعدة في توضيح الأجزاء المهمة في مجسمنا، نحتاج إلىٰ استخدام مقياس لوغاريتمي. وهي فكرة سهلة: فبدلا من أن تكون كل ضغطة علىٰ الزر تحرك الكتل بالطريقة المعتادة (٠، ١، ٢، ٣)، فإننا بدلا من ذلك نضربها في ..,٠١ ٠,, ١ ٠, ١, ١٠, ١٠٠

وقد نقل ستيفين بار وألماس خان من جامعة ديلوير (٢٠٠٧) النقطة إلىٰ جميع أرجاء شريحة ثنائية الأبعاد عبر مجسمنا لدراسة التغيرات التي تطرأ علىٰ كتل الكوارك. وسوف نتفوق عليهم بدراستنا للمجسم الثلاثي الأبعاد. ففي النموذج المخصص الذي درساه، كان مقدار الحد الأدنىٰ للكتلة محددا بواسطة شيء ما يدعىٰ «التكسير الديناميكي للتناظر اللولبي» حيث كان أقل بنحو ٦٠ درجة حجمية -$١٠^{٦٠}$- من كتلة بلانك. وسوف نقوم بالمثل لكل من أوجه مجسمنا.

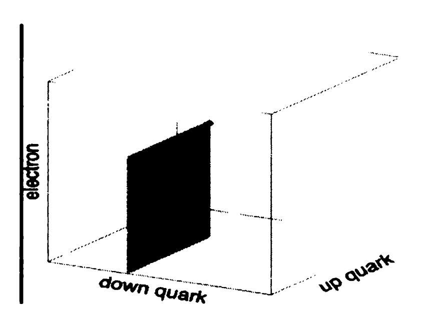
ولمساعدة بناء الكون المبتدئ في تجنب الكارثة، سوف نستبعد الأجزاء التي قد تبينا في الفصول السابقة أنها غير صالحة للحياة؛ فقد تعرضنا للكثير من تلك الأكوان في الفصل الثاني. علىٰ سبيل المثال، في الشكل ٤١، استبعدنا كون دلتا -موجب- موجب الكارثي، الذي به عنصر واحد مستقر من دون وجود تفاعلات كيميائية، وكذلك كون دلتا - سالب المروع، الذي به عنصر واحد وتفاعل كيميائية واحد فقط. في الواقع، سنتقدم خطوة أخرىٰ ونستبعد الكون الذي ليس به سوىٰ الهيدروجين، والكون الأسوأ علىٰ الإطلاق -كون النيوترون- الذي ليس به عناصر ولا كيمياء.



شكل ٤١ : استبعاد الأكوان الفاشلة، المرحلة الأولىٰ. بدءً بمجسم الشكل ٤٠، استبعدنا أكوان دلتا-موجب-موجب، ودلتا-سالب، وكون الهيدروجين وحده، وكون النيوترون وحده، حيث لا يوجد بها سوىٰ علىٰ أقصىٰ تقدير عنصر كيميائي واحد وتفاعل كيميائي واحد محتمل.

كما أن لدىٰ الذرات المستقرة مزيدا من المناطق التي يتعين تجنبها. فسوف نستبعد المناطق التي لا ترتبط فيها البروتونات والنيوترونات لتكوين الأنوية. كما سنستبعد المناطق التي يمكن فيها للنواة أن تقتنص الإلكترون، مما يجعل الذرات محض أكوام من النيوترونات. كما سنستبعد الأجزاء التي يكون فيها أي شيء متعلق بكيمياء الهيدروجين غير مستقر. حينئذ يظهر الشكل ٤٢ ما تبقىٰ.

كما تعبث أزرارنا أيضا بالوقود النووي للنجوم ومصدر ضغطها الداخلي. فسوف نستبعد المنطقة التي ليس بها نجوم مستقرة على الإطلاق، بحسب ما توصل إليه فريد آدامز. كما سنتأكد من أن المنتج الأول للإحراق النجمي (الديوتيرون) مستقر، وأن إنتاجه يصدر الطاقة بدلا من امتصاصها، لأن هذه سيجعل الجاذبية تضطرب في مواجهة اتزان الطاقة الحراري في نجم ما. حيث يظهر الشكل ٤٣ ما تبقى من استبعادنا عن طريق التشريح والتقطيع[١]



شكل ٤٢: استبعاد الكواكب الفاشلة، المرحلة الثانية. حيث نزيل من المجسم تلك المناطق التي تكون فيها الأنوية الذرية غير مستقرة على الأطلاق.

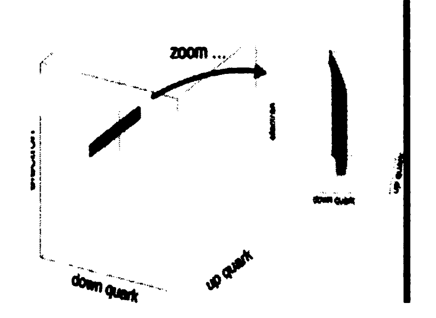
وفي النهاية، نستبعد الأكوان التي لا يسمح فيها صدى هويل (الفصل الرابع) للنجوم بإنتاج كل من الكربون والأكسجين[٢]، مما يوصلنا إلى الشكل ٤٤.

حينئذ يكون الباقي عبارة عن محور رفيع من الأكوان التي تسمح بالحياة ممتدا إلى قيم صغيرة لكتلة الكوارك العلوي، ومحاطة بأرض خربة شاسعة.

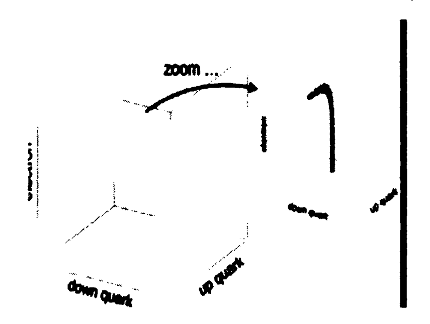
---

(١) كما هو موضح في الفصل الرابع، على عكس بار وخان، فنحن لا نستبعد الأكوان التي يكون فيها الديبروتون (diproton) مرتبطا. فعلى عكس بعض الادعاءات الواردة في الدراسات السابقة عن الضبط الدقيق، فإن ارتباط الديبروتون لا يسبب بالضرورة احتراق جميع الهيدروجين الموجود في كون عند مراحله الأولى. وعلاوة على ذلك، يمكن للنجوم التي يبدأ احتراقها بتشكيل الديبروتون أن تكون مستقرة وأن تعيش طويلا فهي ليست انفجارية بالضرورة.

(٢) أثبت إيبيلباوم وآخرون (٢٠١٣) أن تغيير حاصل كتلة الكواركات الخفيفة بنسبة ٢-٣٪ يكفي للتأثير في إنتاج الكربون والأكسجين. أما في مخططنا، فنحن نبدي مزيدا من السخاء بقولنا إن التغيير بنسبة ٢٠٪ يكفي لذلك.



شكل ٤٣ : استبعاد الأكوان الفاشلة، المرحلة الثالثة. إذا فشل كون ما في توفير نجوم مستقرة؛ يتم استبعاده من مجسمنا.



شكل ٤٤ : استبعاد الأكوان الفاشلة، المرحلة الرابعة. كما ناقشنا في الفصل الرابع، فإن إحدىٰ الخواص المميزة لأنوية الكربون (وهي صدىٰ هويل) تسمح للنجوم التي في كوننا بإنتاج كل من الكربون والأكسجين. ولذا نزيل من مجسمنا تلك الأكوان التي لا يحدث فيها هذا.

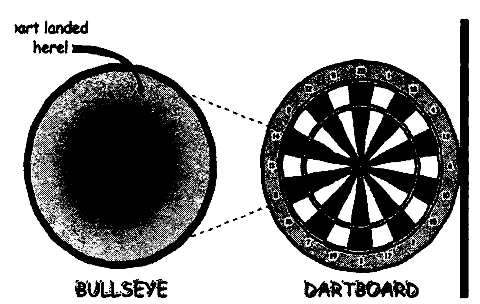
فمشكلة هذا الاعتراض جلية. من المؤكد وجود العديد من الأزرار. ولكن توجد أيضا العديد من مستلزمات الحياة. وإضافة المزيد من الأزرار يفسح مزيدا من المكان، ولكن أكثر هذا المكان ميت. فلا نرىٰ أدنىٰ أثر لواحة الحياة الفسيحة.

وبالمثل، فإن الحياة منحصرة أيضا في نطاق المعاملات الكونية. حيث توصل ماكس تيجمارك Max Tegmark، وأنتوني أغيري Anthony Aguirre، ومارتن ريس Martin Rees وفرانك ويلتشيك Frank Wilczek (2001) إلىٰ ثمانية قيود علىٰ سبعة أزرار dials. ومرة أخرىٰ، تحتشد الحياة علىٰ سطح جزيرة

صغيرة. (ويلتشيك هو عالم فيزياء جزيئات حائز علىٰ جائزة نوبل، وريس هو عالم الفلك والرئيس السابق للجمعية الملكية.) يسعدنا رسم الأبعاد السبعة لأجلك، فيما عدا ورقة بحثية ثنائية الأبعاد!

وربما بدأت هذه الخرافة لأنه عندما يعرض الضبط الدقيق علىٰ جمهور العوام، كثيرا ما يشرح إليهم عن طريق وصف ما يحدث عند تغير معامل واحد. وقد فعل مارتين ريس مثلا هذا الأمر في كتابه الرائع «فقط ستة أرقام». فمارتن يعلم أن معادلات الضبط الدقيق تتضمن أكثر من معامل واحد؛ فهو من استنبط العديد من تلك المعادلات[1]

لا بد من تجنب مغالطتين. الأولىٰ: التركيز علىٰ شكل الجزيرة التي تسمح بالحياة، بدلا من حجمها. فكما رأينا سلفا، ليست الجزيرة التي تسمح بالحياة عبارة عن بقعة واحدة. فهي بشكل عام قد تتعرض خلال أبعاد نطاق المعاملات. فقد يسعنا القول إن الحياة ممكنة لعدة نطاقات من القيم، ولكن هذا سيكون مضللا. فلا نزال بحاجة إلىٰ ضبط الأزرار بعناية. لأن من المستبعد أن يسفر تدوير كل زر بعشوائية عن النجاح في تلك المهمة.



شكل ٤٥: سهم يستقر داخل مركز الهدف. كان من الممكن أن يستقر علىٰ بعد ضعف المسافة من المركز ولا يزال يحتسب إحرازا لمركز الهدف. فهل هذا يعني أن الرمية كانت مضبوطة بدقة لمعامل يبلغ ٢، أو أن إحراز مركز الهدف

---

(١) هذه مثلا مقتبسة من دراسة تيجمارك وريس (١٩٩٨): ومن الواضح أنها تتضمن أكثر من متغير، عسرة جدا علىٰ جمهور العوام. مالم تخفها في الهامش. لاحظ أيضا أن هذه متباينة وليست معادلة، ولذا ينبغي ألا تضر بمبيعات كتابنا.

كانت فرصته خمسين بالمائة؟ بالطبع لا! فصغر حجم مركز الهدف مقارنة بحجم الجدار -مجموعة الأماكن التي كان من الممكن أن يستقر السهم بها- من شأنها أن تكون دليلا علىٰ براعة رمي السهام.

والمغالطة الثانية هي مقارنة المدىٰ الذي يسمح بالحياة بقيمة الثابت الذي في كوننا. إليك قياس لما جرىٰ. افترض أنك رميت بسهم علىٰ اللوحة واستقر في مركز الهدف، مبتعدا ٣ ملليمتر عن المركز تماما (انظر الشكل ٤٥). فتسأل: ليس سيئا، ما رأيك؟ فيجيب صديقك: لا تتسرع. لقد كان بمقدورك إيقاع السهم علىٰ مسافة بعد الضعف عن المركز وستظل تحرز مركز الهدف. وبهذا فإن رميتك ليست مضبوطة بدقة سوىٰ داخل معامل يبلغ ٢ ليس مبهرا أبدا!

ثمة خطأ وقع هنا. حيث إن مقارنة حجم مركز الهدف بحجم الجدار، -وليس مقارنة الرمية بموضع سقوطها- هو الذي يجعل مركز الهدف دليلا إما علىٰ براعتك في رمي السهام، أو إصرارك (بالرغم من هدفك الصعب) علىٰ مواصلة الرمي إلىٰ أن تصيب مركز الهدف.

ذكرنا في الفصل الثاني أن زيادة كتلة الكوارك السفلي بمعامل يبلغ ٦ يسفر عن كون نيوتروني خال من الذرات والكيمياء والنجوم والكواكب. وقد يبدو هذا مجالا فسيحا. إلا أنه بينما يعد المعامل الذي يبلغ ٦ جيدا لتحديد منطقة الضبط الدقيق، إلا أنه يعطي انطباعا مضللا عن حجمه. فمقارنته بالطاقات العالية التي قد بلغتها مسرعات الجسيمات، نجد أن المدىٰ الذي يسمح بالحياة أقل من جزء في مائة ألف. وبمقارنته بكتلة بلانك، نجد أنه جزء من ١٠٢٠. حيث إن نطاق القيم الممكنة للثابت (في نظرية ما) كثيرا ما يكون أكبر من القيمة الفعلية.

الاعتراض التاسع: شوفينية الحياة[1] Life Chauvinism لماذا نظن أن الحياة مميزة؟

التعقيب: أنت تافه جدًا! لأنك ربما تظن أن هذا الكون مخصص لك، أليس كذلك؟[2] هناك الكثير من أنواع الأشياء التي توجد فقط في جزء صغير من الأكوان الممكنة، فلماذا لا نناقش الضبط الدقيق للكواكب أو الثقوب السوداء أو أجهزة الأيباد iPad? تفترض نظرية الضبط الدقيق -وكذلك خرافات الخلق- أن الجنس البشري هو أكثر شيء مميز في الكون، إلا أن هذا ليس إلا اعتدادًا بأهمية النفس، فالكون لا يعبأ بنا.

الرد المُوجز: يمكن النظر إلىٰ كوننا باعتباره مميزًا لو أنه يدعم بعض النظريات ولكن يرفض الأخرىٰ، وبالتالي هو يساعدنا علىٰ اختبار أفكارنا.

الرد المُفَصل: هل هناك أي شيء مميز في الطريقة التي تتلائم فيها قارات الأرض مع بعضها البعض وكأنها أحجية الصورة المقطعة jigsaw puzzle؟ هل هناك أي شيء مميز بشأن الحركة البراونية Brownian motion- أي التصادم العشوائي للجزيئات المعلقة في سائل معين؟ هل هناك أي شيء مميز بشأن الأصوات الخافتة التي لم يستطع الفيزيائيان أرنو بينزياس Arno Penzias وروبرت ويلسون Robert Wilson إزالتها تمامًا من إيريال الاستِشْعار antenna الخاص بهما؟

علىٰ الرغم من أن هذه العمليات الرصدية تبدو غير مهمة، إلا أنها مميزة جدًا لكونها تدعم نظريات مهمة حول الطريقة التي يعمل بها الكون. فقد أثبت ألفريد فيجنر Alfred Wegener أن القارات المُقطعة تعتبر دليلًا علىٰ أنهم كانوا ملتصقين ببعضهم البعض إبتداءًا ثم انفصلوا علىٰ هيئة صفائح تكتونية tectonic plates. وأثبت أينشتاين أن الحركة البراونية للجسيمات دليل علىٰ وجود

---

(١) الشوفينية هي شكل من أشكال الوطنيةوالقومية المتطرفة والإيمان بالتفوق الوطني. وتُعرف كذلك بأنها «إيمان غير منطقي بالتفوق أو هيمنة لمجموعة أو أشخاص معينة». ويُنظر إلىٰ شعب الشوفيني علىٰ أنه فريد من نوعه ومميز، في حين أن بقية الناس يعتبرون ضعفاء أو في درجة أدنىٰ -المترجم-.

(٢) مع الإعتذار لكارلي سايمون Carly Simon.

الذرات بقياس كُتَلِهَا الصغيرة. وقد اكتُشفت الخلفية المكروية الكونية فقط عندما لفتت تجربة بينزياس وويلسون انتباهَ روبرت ديكي Robert Dicke وزملاؤه في جامعة برينستون Princeton University الذين ادركوا كونها من بقايا الظروف الكونية المبكرة.

إليك مثالًا آخرًا؛ هل تعتبر الحزوز striations نمط المسارات المنحوتة groves والخدوش- علىٰ رصاصة في مسرح الجريمة أمرًا مميزًا؟ حسنًا، ربما تظن أن جميع الرصاصات التي تم إطلاقها يجب أن يكون لها نمطًا معينًا، ولكن ما هو المميز بشأن تلك الحزوز؟ تُصبح هذه الحزوز فجأة في غاية الأهمية إذا وجدنا المسدس الذي نظن أنه أطلق تلك الرصاصة، حيث إنها تشبه بصمة الإصبع. فهنا تصبح الحزوز مميزة جدًا للنظرية التي تقول أن هذا المسدس هو الذي أطلق الرصاصة.

فالحقائق يمكن أن تكون مميزة لنظريةٍ ما، وذلك بسبب ما تُخبرنا به عن العالم، وبسبب ما يمكننا استنتاجه منها.

فهل الحياة مميزة؟ حسنًا، إن قضية وجود حياة في الكون تعتبر حقيقة علمية بالتأكيد. وأي حقيقة علمية يمكن أن تصبح حقيقة مميزة - علىٰ حسب النظريات التي لدينا عن الكون. سنتناول هذا الأمر بعد قليل، لكن أولًا يمكن أن نشير إلىٰ بعض الأدلة التي تُظهر للوهلة الأولىٰ أن الحياة -بهذا المعنىٰ- يمكن أن تكون مميزة.

يقول المغني الكوميدي تيم مينشين Tim Minchin لحبيبته: «لو لم أرتبط بكِ، كان سيرتبط بكِ شخصًا آخر،» وتستأنف أغنيته الغزلية الصريحة إلىٰ حد ما: «أقصد، مع كونكِ مميزة، لكنك تقعِ ضمن المنحنىٰ الناقوسي .bell curve»[١] [أي التوزيع الطبيعي المُحتمل إحصائيًا -المترجم]

---

(١) من ألبوم "Ready For This? (2019)" واستُخدم بموجب تصريح.

فعندما تبحث عن شيء مميز، يعتبر عثورك علىٰ شيء نادر أو استثنائي ليس إلا بداية علىٰ الأقل. فمحبوبة مينشين Minchin -بلا شك- قابلة للاستبدال، بحيث يوجد عدد كبير من الزوجات الممكنة، و«إحصائيًا،» بعض منهن كانت ستصبح بدورها لطيفة علىٰ حد سواء.

وتعتبر الحياة -علىٰ الجانب الآخر- إستثنائية للغاية في مجموعة الأكوان الممكنة -كما رأينا- وهذا علىٰ النقيض تمامًا إذا تحدثنا -علىٰ سبيل المثال- عن الثقوب السوداء؛ حيث تُعد أمرًا سهلًا - فقط اترك الجاذبية تقوم بعملها. وكما رأينا في الفصل الخامس، تؤدي الصلابة lumpiness -الزيادة التكتُلية- (Q) في الكون إلىٰ وفرة الثقوب السوداء بشكل متزايد.

لكن الندرة ليست كافية، فتعد أجهزة الآيباد -علىٰ الأقل- استثنائية مثل الحياة، إلا أنه لم يكتب أحدٌ كتابًا عن الضبط الدقيق للكون من أجل وجود أجهزة الآيباد. فلماذا تكون الحياة مميزة لنظرية معينة بينما لا تكون أجهزة الآيباد؟ نعرض هنا طريقتين لذلك.

كراصدين: قد تكون أشكال الحياة مميزة من المنظور العلمي لأن العلماء أنفسهم أشكالًا للحياة.

يعتمد ما نلاحظه في العلم التجريبي ليس فقط علىٰ ما هو موجود، ولكن أيضًا علىٰ ما نرصده. فما تراه في سماء الليل يعتمد كثيرًا علىٰ ما تبحث عنه. وبالتالي فيعتمد الامر علىٰ الغلاف الجوي والمرآة وجهاز الكشف والبرنامج المستخدم واللحوم الواعية sentient meat[1] الجالسة أمام شاشة الحاسوب.

فنحن نكتشف فقط في أي عملية رصد -علىٰ سبيل المثال- للكون البعيد ألمعَ الاجسام الموجودة، ولكن لا نستطيع رؤية الأجسام الخافتة للغاية؛ وهذا التحيز في الاختيار selection effects هو الذي يقض مضاجع علماء الفلك.[2]

---

(١) مصطلح يستخدمه التطوريون للإشارة إلىٰ الإنسان، إشارة إلىٰ أن الوعي البشري يعتبر نتيجة غريبة للتطور وليس هناك أي قيمة حقيقية له. (المترجم)

(٢) هل استوعبتها؟

فالحياة مميزة لأنها تأتي مرتبطة بالتحيز في الاختيار. وليس الكون -كما أشرنا في الفصل الأول- هو تجربتنا، فنحن لسنا الدكتور فرانكشتاين Frankenstein، وإنما نحن الوحوش؛ حيث إننا نتاج الشيء ذاته الذي ندرسه.

وقد عمل العلم بجِد علىٰ إزالة -أو علىٰ الأقل إصلاح- تأثير البشر والنقائصَ والتحيزاتِ المحببة لديهم. فنحن نستخدم التجارب الطبية مزدوجة التعمية للتغلب علىٰ أَثَر الغُفْل placebo effect. وتعتبر قابلية الرياضيات لأن تُصبح أوتوماتيكية وخوارزمية جزءًا من العوامل الجاذبة لاستخدامها في صياغة النظريات وتحليل البيانات. ويمكننا جعل جهاز الحاسوب يقوم بذلك، وبالتالي نُزيل التدخل البشري بالكامل تقريبًا. ونستدعي خبراء آخرين لمراجعة عملنا قبل نشره، ونتحكم في المتغيرات ونضبط الأدوات ونتعاون مع خبراء آخرين.

ولكن في النهاية، يعتبر العلم نوعًا من المعرفة، وبالتالي يحتاج العلم إلىٰ عارف. والشيء الذي يجعل العلمَ ممكنًا هو عقلك - كيلو جرام ونصف من أكثر المواد تعقيدًا في الكون. ولا يمكن أن تصبح جميع قوانين الطبيعة قوانينًا علمية لأن الكثير منها لن يخلق عالِمًا.

وككائنات أخلاقية: يمكن أن تكون الحياة مميزة لأن أشكال الحياة قادرة علىٰ المعرفة الأخلاقية والأفعال الأخلاقية.

وقيل لنا أننا كائنات حقيرة لأننا أحجامنا صغيرة جدًا والكون كبير جدًا. ومن المعروف جيدًا - وقد رأيتَ ذلك مُوَّضحًا من قِبَل علماء الفلك - أنه بالإضافة إلىٰ اتساع السماوات، فيُقدر محيط الأرض بحجم نقطة؛ وهذا يعني أنه يمكن أن يُظن أن محيط الأرض ليس له حجم علىٰ الإطلاق عند المقارنة مع عِظَمِ الكرة السماوية. وهذا يضع نهاية لأفكار القرون الوسطىٰ بشأن التميز البشري كان سيحدث ذلك علىٰ الأقل، ولكن في الحقيقة، الجملة السابقة مقتبسة من كلام فيلسوف القرن السادس عشر بوثيوس Boethius. ففكرة أن الأرض شَذْرَة كونية ليست معلومة جديدة. وكما أشرنا في الفصل الأول، كان

للأفكار المتصورة مسبقًا عن الاعتداد بالنفس البشرية بالفعل تأثيرًا ضئيلًا جدًا علىٰ نظريات الكون.

وخذ في اعتبارك أن مصطلحات مثل القيمة والغاية والتلائم والأهمية والتميز ليست مصطلحات علمية تجريبية. فنحن لم نخترع الذبذبات القيمية significance-oscope، ولا يوجد مترًا غائيًا purpose-ometer، وليس هناك مصطلح في معادلاتنا للتلائم، ولم نقم برصد الكون باستخدام تلسكوب يقيس الأهمية. فلا يمكن للعلم التجريبي أن يقول أننا كائنات حقيرة.

ولكي تقول عن شخص أنه ذو قيمة، فلابد أن تعترف بقيمته الأخلاقية. ولا يمكن أن تُقاس هذه الفئة بالتلسكوبات أو بالأمتار. فنحن مخلوقات لديها القدرة علىٰ التحقق من الأدلة، والبحث عن الحقيقة، والتفكير المنطقي، وإنشاء مقاطع موسيقية، والاستمتاع بالجمال، والانبهار، والاحتفاظ بالخير، والإعجاب بالفضيلة، وإظهار الحب. فالبشر يقيسون الأهمية، وكما يقول الدكتور سوس Seuss، «الإنسانُ إنسانٌ بغض النظر عن صغر حجمه»[١]

الاعتراض العاشر: ليس لدينا حتىٰ تعريفًا جيدًا للحياة

التعقيب الوارد: «الحياة كما نعرفها» ليست مفهومة جيدًا بشكل خاص، ولا سيما عندما يتعلق الأمر بالظروف التي تطورت فيها الحياة من المواد الكيميائية غير الحية[٢]، فلقد أثبتت الحياة صعوبة تعريفها.

---

(١) مقتبسة من: Horton Hears a Who! (١٩٥٤).

(٢) ونحن كمسلمون لا نقول بتطور الحياة من مواد كيميائية غير حية، والقول بهذا يتعارض مع هدف الكتاب نفسه، وقولنا هذا ليس عبثا أو مصادرة علىٰ المطلوب، وإنما نتاج تسلسل منطقي لاتباع الدليل. فقد أرشدنا العقل الرشيد والتفكير السليم والعلم المحكم الصحيح لوجود خالق حكيم عليم مُريد منزه عن العبث أو أن يترك خلقه سُدىٰ وهو ما يستلزم عنه إرسال الرسل وإنزال الكتب لدلالة خلقه عليه، وتواترت الأدلة والبراهين العقلية والمنطقية والخبرية علىٰ صدق النبي محمد ﷺ وصحة الإسلام وإعجاز القرآن الذي يقول: «الذي أحسن كل شيء خلقه وبدأ خلق الإنسان من طين» وغيره من النصوص المتواترة عن الخلق البديع والصنع المتقن. المترجم

الرد المُوجز: لقد ناقشنا هذا الاعتراض في الفصل الأول، وخلُصنا إلىٰ أن الملحمة carnage التي تنتظر الحياة في فضاء المتغيرات parameter space تُثير مخاوفًا حول التعريفات المختلفة للحياة إلىٰ كونها تحمل طابعًا تقنيًا بسيطًا.

الاعتراض الحادي عشر: قد يكون هناك أشكال أخرىٰ للحياة

التعقيب: لكي نقيم حجة الضبط الدقيق للكون من أجل وجود الحياة، فنحن نحتاج إلىٰ حساب احتمال وجود كل نوع من أنواع الحياة، فماذا عن أشكال الحياة التي لَمْ نأخذها في الاعتبار؟ فعلىٰ سبيل المثال، لقد ناقشتَ الظروف التي يكون فيها الكربون مستقرًا ويتشكل داخل النجوم؛ ولكن ماذا عن الحياة القائمة علىٰ أساس سيليكوني؟ وماذا عن الحياة القائمة علىٰ المواد الكيميائية الأخرىٰ؟ وماذا عن الحياة التي لا تعتمد علىٰ المواد الكيميائية علىٰ الإطلاق؟

الرد المُوجز: لا يكفي اكتشاف أشكالًا ممكنة أخرىٰ للحياة لإبطال حجة الضبط الدقيق، فنحن بحاجة إلىٰ اكتشاف أشكال بديلة للحياة والتي يمكن أن توجد في أي كون قديم، بما في ذلك الأماكن الشاسعة المُقفرة من الحياة لتي تجاهلناها باعتبارها غير صالحة للعيش، ولكن لم يقترح أحدٌ أشكال حياة مثل هذه. وعلاوة علىٰ ذلك، لو أن وجود الحياة أمرًا سهلًا للغاية، فلماذا تعتمد الحياة كما نعرفها علىٰ مثل هذه التركيبات الكيميائية العضوية المعقدة للغاية؟

الرد المُفَصل: أولًا، إن معظم حالات الضبط الدقيق التي نوقشت في الفصول السابقة ارتبطت بقدر قليلٍ جدًا بالحياة، تأمل في الثابت الكوني: فأيُّ زيادة تبدو صغيرة تؤدي إلىٰ كون بلا بنية علىٰ الإطلاق، ويؤدي نقص صغير (للقيم السلبية) إلىٰ عدم وجود أي كون علىٰ الإطلاق. وهذه الأكوان بسيطة للغاية بحيث لا يوجد مكان بها لإخفاء أشكال الحياة البديلة.

ثانيًا، حتىٰ إذا تمكنت بعض أشكال الحياة من الهروب من الملحمة التي اكتشفناها في فضاء المتغيرات، فإن التغييرات التي تبدوا صغيرة في المعاملات

الحرة الخاصة بقوانين الطبيعة -كما نعرفها- مازال لها تأثيرات جذرية وغير معادَلة ومضرة علىٰ قدرة الكون علىٰ دعم التعقيد اللازم لوجود أشكال الحياة المادية. حتىٰ وإن لم نستطع بشكل يقيني استبعاد وجود حياة في مثل هذه الأكوان، فلا يزال هناك شيئًا جديرًا بالملاحظة حول مدىٰ ملاءمة كوكبنا لوجود الحياة؟

ثالثًا، حينما ركزنا علىٰ أشكال الحياة التي تعتمد علىٰ الكربون، فلم يكن ذلك لمجرد 'شوفينية الكربون'، ولكن لكونه يُعزز الكيمياء الحيوية الخاصة بنا، فيتضح أن الكربون فريدًا من نوعه.

ضع كل فرد من عائلة الكربون في الصف الأول من الجدول الدوري للعناصر الكيميائية: الليثيوم (Li) والبريليوم (Be) والبورون (B) والنيتروجين (N) والأكسجين (O) والفلور (F) والنيون (Ne). اسأل نفسك الآن: كم عدد المركبات الكيميائية التي يمكن تحضيرها باستخدام كل عنصر مع الهيدروجين، حيث إنه أبسط عنصر فيهم جميعًا؟

Ne	F	O	N	C	B	Be	Li
0	6	21	65	29, 019	38	6	4

نأمل أن يدهشك أحدُ هذه الأرقام لأن حجمها كبير علىٰ نحو غير عادي،[1] فيمكنك عمل الكثير جدًا من الأشياء مستخدمًا الكربون؛ حيث إنه متعدد المهام ومرن بطريقة لا مثيل لها مقارنة بأي عنصر آخر. وتَذَكر أنه لا يوجد سوىٰ عدد محدود من العناصر ويمكننا اختبارهم جميعا.

تمنح المرونة التي يتمتع بها الكربون القدرةَ علىٰ تكوين جزيئات مخزِنة للمعلومات، ويمكن أن تكون هذه الجزيئات كبيرة حيث يمكن للكربون أن يُشكل

---

(١) يمكن الحصول علىٰ تلك الأرقام من بحث في قاعدة بيانات chemspider.com لشهر سبتمبر ٢٠١٥، ويتضمن الجدول مركبات كيميائية ذات شحنة كهربائية صافية، ويتجاهل التركيبات التي تحمل علامات بشكل متناظر.

سلاسلًا طويلة منها؛ ولكي نحدد لائحة تحضيرية لمكوناتك، فنحن بحاجة إلىٰ كثير جدًا من المعلومات. إن مركبات الكربون مؤقتة الاستقرار، أي أنها ليست شديدة الاستقرار إلىٰ حد أنه لا يمكن قراءة المعلومات واستخدامها، ولكنها ليست غير مستقرة أيضًا - يجب حثها علىٰ التفاعل وبالتالي لا تقوم بمزج معلوماتها تلقائيًا.

علاوة علىٰ ذلك، يعمل التنوع الكبير في مركبات الكربون علىٰ جعل الحمض النووي وسيلة فعالة للرسائل. وتسمح كيمياء الحياة بتنظيم حروف أبجدية الـ DNA (المشار إليها عادةً كـ G) - A - T - (C بأي ترتيب دون وجود أي تآلف كيميائي بين الحروف، وهذا الأمر ضروري للسبب التالي: لنفترض أن لوحة مفاتيح الحاسوب لديك لا تعمل جيدًا حيث إنها تضيف حرف "C" مباشرة بعد الضغط علىٰ حرف "A"، وهذا من شأنه أن يلغي بشدة قدرتك علىٰ كتابة رسائل ذات معنىٰ. وبالمثل، إذا اجتذب الحرفُ G في الـ DNA الحرفَ A أكثر من الحرف C، فستحتوي رسالة الحمض النووي علىٰ حروف متكررة زائدة عن الحاجة، وتلك النتائج كانت نتيجة للجذب الكيميائي المجرد بدلًا من تشفير الرسالة. فلا تتضمن كيمياء الكربون متعددة المهام مثل هذه التآلفات الكيميائية وبالتالي يمكنه حقًا كتابة رمز تشفيري.

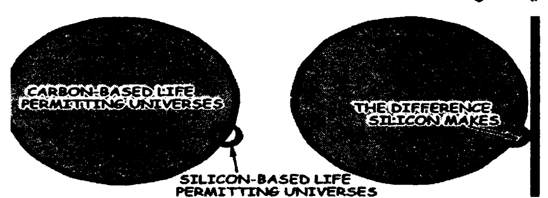
وتتميز المياه أيضًا عن باقي المجموعة، حيث تختلف العديد من خصائصها بشكل كبير عن المركبات الكيميائية المماثلة. فعلىٰ سبيل المثال، يمكن للمياه أن تمتص الحرارة بفعالية، ولذلك تلعب محيطات الأرض دورًا هامًا في تثبيت مناخنا. وتعتبر المياه مذيبًا عالميًا تقريبًا، وبالتالي يمكن أن تستخدمها أشكالُ الحياة بكفاءة للنقل الداخلي. ويتحلل مركب ثاني أكسيد الكربون (CO2) -المركب الشائع لنفايات الأيض- في المياه، ويعتبر طرح نفاياته أمرًا سهلًا نسبيًا: ما عليك سوىٰ توجيهه إلىٰ الأوردة ثم إلىٰ الرئتين ثم تَنَهُّده.

علاوة علىٰ ذلك، فإن شكل المياه الصلب أقل كثافة من شكله السائل، أو -بطريقة أكثر شيوعًا- الجليد يطفو علىٰ المياه. وبدون هذه الخاصية، لم يكن

الجليد ليُشكل طبقة سطحية رقيقة وعازلة علىٰ المحيطات والبحيرات؛ وإنما سيتجمد من أسفل إلىٰ أعلىٰ بدلًا من ذلك، وبالتالي يمكن لعصر جليدي أن يُجَمِدَ المحيطات إلىٰ شكلٍ صلبةٍ، ويمحو كل أشكال الحياة المائية، ويترك الأرض كرةً ثلجية متجمدة. وبما أن الجليد يعكس أشعة الشمس بشكل فعال، فيمكن أن تستمر حالة كرة الثلج بشكل دائم. (تذكر: القضية ليست أن الحياة الخالية من المياه مستحيلة، ولكن من المحتمل أن يكون تكوينها أكثر صعوبة).

وفكر الآن في أقرب مُكونٍ من العائلة للكربون، وهو السيليكون silicon الذي يقع مباشرة أسفل الكربون في الجدول الدوري، فقد تتذكر من مادة الكيمياء في المدرسة الثانوية أن العناصر الموجودة في نفس العمود من الجدول الدوري لها خواص كيميائية مماثلة. فيحتوي السيليكون -مثله مثل الكربون- علىٰ أربعة إلكترونات خارجية جاهزة للارتباط الكيميائي، لكن هذه الأوجه من التشابه بينهما تتلاشىٰ عند مقارنة اختلافاتهم.

يمكن أن يُشكل السيليكون ٥٥ مركبًا مع الهيدروجين، وهو عدد ضئيل جدًا عند مقارنته مع الكربون الذي يُشكل ٠١٩,٢٩ مُرَكبًا (كما رأينا أعلاه). وبينما يمكن أن يُشكل السيليكون سلاسل طويلة، إلا أنها تميل إلىٰ التكرار. وعلىٰ وجه الخصوص، سيكون المُركب المُعادل لثاني أكسيد الكربون اللازم للحياة القائمة علىٰ السيليكون -أنت اقترحت ثاني أكسيد الكبريت SiO2- هو الكريستال. وبالتالي، فبدلًا من تشكيل في كل خلية من خلايا جسمك غازًا قابلًا للذوبان في المياه، سيتشكل لديك رملًا.



شكل ٤٦: مقارنة بين الأكوان التي تسمح بالحياة المعتمدة علىٰ السيليكون والكربون، والتي تُبين أنه بينما يمتلك السيليكون القدرة علىٰ توفير إطار لكيمياء الحياة، إلا أنه مجرد بثرة مقارنةً بمكونات الكربون.

ولكن هذا لا يُفسد التركيب اللازم لوجود الحياة - فهذه ليست القضية، لأنه قد نتخيل شكلًا من أشكال الحياة يستطيع التغلب علىٰ أوجه القصور في السيليكون. ولكن القضية هي أننا نحاول أن نُلقىٰ نظرة شاملة علىٰ الحياة في فضاء المتغيرات parameter space. فإذا كانت الحياة القائمة علىٰ السيليكون تتطلب ظروفًا خاصة أكثر من الكربون، فمن المحتمل أن تكون مساحته في المعامل أصغر. فلن تكون الحياة القائمة علىٰ السيليكون بالتأكيد موجودةً في أي ظروف كون قديم.

وكذلك، يتركب كلًا من السيليكون والكربون في النجوم والسوبرنوفا، وأنت تتذكر أن النجوم تُركب النوىٰ الكبيرة عن طريق تركيب النوىٰ الصغيرة أولًا ثم تسحقهم معًا. وبالتالي فلابد لأي كون قادر علىٰ تركيب السيليكون أن يكون قادرًا علىٰ تركيب الكربون أولًا وفي هذه الحالة، ستتداخل مساحة الحياة المعتمدة علىٰ السيليكون مع مساحة الحياة المعتمدة علىٰ الكربون. ولا يوجد نقص في السيليكون في كوننا: يُقدر مقدار السيليكون بـ ١٥٠ ضعف مقدار الكربون في القشرة الأرضية.

يوضح الشكل رقم (٤٦) حالة الحياة مع السيليكون. إن التأثير الصافي لإدراج الحياة القائمة علىٰ السيليكون يعتبر بثرة صغيرة علىٰ قطعة الكربون الصغيرة المُكونة بالفعل في فضاء المتغيرات؛ فمن الواضح أن الحياة القائمة علىٰ السيليكون لا تملئ جزءًا كبيرًا من فضاء المتغير.

دعنا نوسع نطاق بحثنا ونطلق العنان لخيالنا وارجع إلىٰ صفحة ويكيبيديا المُفصَّلة بشكل مثير للإعجاب: «قائمة بالكائنات الفضائية حسب الشكل List of fictional extraterrestrials by form"، فهناك ستجد كل شيء بداية من الآسغارديين Asgardians إلىٰ الزيغون Zygons، ومن كائنات فيلم The Blob إلىٰ كائنات فيلم The Thing[1]

---

(١) يزعم واحد منا يقوم بالعمل التحقيقي الخاص بك أنه ينحدر من السيليورس وهي قبيلة سيلتية في بلدة ويلز Wales- ولديه سلسلة نسب مباشرة تصل إلىٰ السيلوزيين وهم جنس له مواصفات البشر =

ببساطة، لن تفي الكثيرُ من هؤلاء الكائنات الفضائية بالغرض، فبعضها يعتبر مجرد طفرات للحياة كما نعلمها؛ فالكائن تشوباكا Chewbacca -مع كونه جذابًا- يعتبر مزيجًا من الإنسان والكلب والنشابية crossbow. فلا تمثل هذه الأشكالُ أشكالًا بديلة للحياة، ولكنها تستكشف طفرات التطور المحتملة. وقد كان من الممكن أن يُستبدل انعكاسٌ خلال عصر الكمبري البشر بكائنات الزينوروفيين Xenomorphs أو الإيواكس Ewoks أو ديكابوديين Decapodians أو الجورنات Gorns،[١] فهؤلاء ليسوا الكائنات الغريبة التي نبحث عنها.

يقوم كُتَّاب الخيال العلمي الآخرون ببساطة بوضع عقل شبيه بالعقل البشري في مكان غير عادي -مثل سحابة الغاز أو عمود الضوء (أو «الطاقة النقية» مهما كانت) أو الطماطم القاتلة[٢]- ومع أن هذا الأمر سيُحرز تقدمًا في القصة، إلا أننا نفتقد بعض التفاصيل. كيف تُنَظِم بالضبط التجربةَ لكي تُنشئ سحابة غاز لمعالجة وتخزين المعلومات؟ فلا توجد فيزياء هنا، وبالتالي لا توجد طريقة للبحث عن فضاء المتغيرات لكي توجد السحب الغازية الواعية sentient gas cloud.

وتزداد الأمور سوءًا كلما حاولنا أن نستوفي التفاصيل. لنفترض أننا نُنظم تصادمات بين الجسيمات داخل سحابة غازية واعية لإجراء الحسابات وتخزين المعلومات، وقد توصل علماء الحاسوب إلىٰ كيفية محاكاة جهاز الحاسوب

= humanoids يشبه الزواحف الذي يشارك الكونَ مع الدكتور هو Who [برنامج تلفزيوني للخيال العلمي يُعرض علىٰ قناة BBC -المترجم-]-. أسلاف المؤلف الآخرين تعتبر كائنات غير خيالية بشكل مخيب للآمال.

(١) مبروك، لو فهمت كل هذه الأسماء. سنوفر عليك بعض البحث، الكائنات الفضائية في فيلم (Alien and Aliens) هي الزينوروفيين. والإيواكس هي دمىٰ الدببة التي تهزم الإمبراطورية في فيلم (Return of the Jedi). الدكتور جون زويدبيرج من فريق فوتثرما هو ديكابوديين. وأخيرًا، حارب الكابتن جيمس ت. كيرك في فيلم (Star Trek) الجورنات، وهي من الزواحف التي اشتهرت ببشرتها المطاطية ووجهها الخالي من العواطف وأسلوبها البطيء في القتال.

(٢) فيلم خيال علمي بهذا الاسم واستخدم هذه الطريقة. (المترجم)

باستخدام كرات البليياردو؛ وفي الآونة الأخيرة، تم تنفيذ تصميمًا مماثلًا باستخدام سرطان البحر الجندي soldier crabs،[1] ولكن ليس لدينا أي فكرة عن السبب.

نقوم ببرمجة الحالة الأولية بحيث بمجرد الانتهاء من جميع التصادمات، تُسجل الحالةُ النهائية للجسيمات الإجابةَ. ولكي نتنبأ بمسارات جميع الجسيمات، فسنحتاج إلىٰ مراعاة جميع القوىٰ الداخلية والخارجية.

ولكن تكمن المشكلة في احتياج جهازُ الحاسوب المعتمد علىٰ كرة البليياردو إلىٰ ارتداد الكرات في اتجاه محدد والحفاظ علىٰ مسارها؛ وهذا الأمر يلغي القوىٰ الخارجية. فهذا يحتاج إلىٰ تكوين صلب مع جدران صلبة ومساند مطاطية، ولا تتوفر مثل هذا الرفاهية في مرحلة الغاز.

حيث إن التصادم بين جزيئات الغاز فوضوي، ويعتمد المسار الدقيق الذي يأخذه الجسيم من تصادم إلىٰ تصادم -بشكل حساس جدا- علىٰ كل التفاصيل الدقيقة للنظام وبيئته. فكلما زاد عدد حالات الاصطدام التي تحتاج إلىٰ حسابها، كلما كنت بحاجة إلىٰ معرفة أكثر دقة بتفاصيل السحابة وما حولها. وأثبت مايكل بيري Michael Berry في عام ١٩٧٨ أنه لكي نتنبأ بالـ ٥٦ تصادم قادم لجزيء من الأكسجين في هذه الغرفة، يجب علينا معرفة موضع كل جسيم في الكون المرصود! إن تجاهل ضَعف قوة السحب الناتجة عن جاذبية إلكترون واحد علىٰ بُعد ١٠ مليار سنة ضوئية يُولد أخطاء تجعل التنبؤ عديم الفائدة في حوالي ١٠ نانو ثانية.

تحكي رواية فريد هويلي Fred Hoyle الصادرة عام ١٩٥٧ بعنوان «السحابة السوداء Blac Cloud» (تنبيه حرق أحداث!) عن اكتشاف سحابة هائلة من الغاز تتجه نحو النظام الشمسي. وظهر أن السحابة عبارة عن كائن حي خارق للعادة؛ مخلوقٌ يتمتع بالوعي (يُطلق عليه اسم جو) وهو أكثر ذكاء من البشر، واندهش جو بعض الشيء لعثوره علىٰ الحياة علىٰ كوكب الأرض.

---

(١) حيوان قشرية توجد في أماكن عديدة من أوروبا خاصة أستراليا. (المترجم)

نتصح بشدة بقراءة كتاب هويل Hoyle الرائع، و(بالطبع) يقوم هويل بعمل ممتاز في تقديم صورة حية للعلم والعلماء.[1] وسيواجه جو كذلك مشكلة الفوضىٰ، حيث يُرسل عقلُك إشارات علىٰ طول الخلايا العصبية الصلبة (إذا كانت مرنة)، مما يضمن وصولها إلىٰ وجهتها المقصودة. ولكن من ناحية أخرىٰ، يعتبر إرسال جسيم في مرحلة الغاز أمرًا محفوفًا بالمخاطر. وبتكرار حساب البروفيسور بيري Berry، سيستلزم الأمر ١١ تصادمًا فقط -١/ ١٠٠٠ من الثانية- ليلقي الإلكترونُ الجُسيمَ عن مساره علىٰ حافة الكون.

يُرد علينا بأن جو يتغلب علىٰ هذه المشكلة مستخدمًا الحقول المغناطيسية كما لو كانت أذرعًا عملاقة، وعن طريق إرسال جزيئات علىٰ امتداد تدفقات مائعة واسعة النطاق. وتمنع هذه الحقول المغناطيسية أيضًا السحابةَ من الانهيار تحت تأثير جاذبيتها، ويتحكم الدماغ المركزي -الذي تم إنشاؤه من جزيئات عضوية- في هذا الأمر. ويتجول جو في الكون، ويزور في بعض الأحيان نجمًا ليستعيد القوة ويجدد موارد مخازنه الكيميائية. وتتولد السُحُب الواعية عندما يكتشف أحدُ أشباه الأستاذ جو سحابةً نجمية غنية بالمواد العضوية بشكل مناسب ثم يزرع فيها الحياة.

يشير عالِمٌ في كتاب هويل: «الأمر الذي يدهشني هو التشابه المذهل بين المبادئ التي تعمل علىٰ بقاء الحياة   فالتفاصيل بالتأكيد تختلف بشكل كبير: فيُستخدم الغاز بدلًا من الدم والقلب الكهرومغناطيسي والكليتين وما إلىٰ ذلك. ولكن المنطق وراء الشكل العام هو نفسه.» (إصدار عام ١٩٥٧، صد ١٨٠)

ولو استمرينا في البحث عن الأستاذ جو في فضاء المتغيرات، فسنجد أن كونه المُختار يُشبه إلىٰ حد كبير كوننا. فتعتبر متطلبات كون جو - نوىٰ وذرات

---

(١) قد يكون هويل أحد العلماء النظريين قد نفذ صبره مع أقرانه الراصدين، فيصف في روايته حديثًا لأحد الفلكيين الهواة: «.   بدا الأستاذ جرين فجأة وكأنه تذكر غرض حديثه، فتخلىٰ عن وصف معداته الحبيبة، وبدأ يالتخلص من نتائجه، مثل كلب يهز نفسه بعد الاستحمام.» (إصدار عام ١٩٥٧، صد ٣١)

مستقرة، وكيمياء مثيرة للاهتمام، وكون طويل العمر، ونجوم طويلة العمر وتمدنا بالكيمياء، وانفجار سوبرنوفا لتوزيع العناصر الكيميائية في الفضاء بين النجوم، والمجرات لتجمع المادة في السحب وبالتالي نجوم - مألوفة جدًا، فيبدو أن جو أيضًا يعيش في كون مضبوط ضبطًا دقيقًا.

بينما تكمن المشكلة مع معظم أشكال الحياة من الكائنات الفضائية الخيالية هي أننا لم نعلم كيف تعمل تلك الكائنات، إلا أن كون جو الذي افترضه هويل يعتبر استثناءًا رائعًا، فتشبه طريقة عمله الداخلية طريقتنا. فتتمتع الحياة - علىٰ حد علمنا بها - بمجموعة معقدة بشكل استثنائي من العمليات التي تعمل خلف الستار. فالخلية ليست فقاعة متجانسة من البُرُوتُوبْلازْمَا؛ ففي الواقع، نجد أنه لا شيء يجافي الحقيقة أكثر من هذا الاقتراح، فيمكن اعتبار الخلية علىٰ أنها تشتمل علىٰ مصنع ضخم، ومدينة أيضًا، وآلة روبي جولدبيرت **Rube Goldberg** المعقدة لخطوط التجميع المترابطة، وآلات، وطرق سريعة، وشاحنات نقل، ومخططات مستقبلية، وغير ذلك. وإذا كان تركيب الحياة أمرًا سهلًا، فسيكون من المدهش للغاية أن تُرهق الحياة نفسها علىٰ الأرض في كل هذا المتاعب.

تأمل أيضًا في الأجهزة الخلوية ذاتية الحركة، التي نوقشت في الفصل السابق. فبينما تختلف لغبة كونواي Conway عن عالمنا بالقدر الذي نرجوه، إلا أن قواعدها مع ذلك مضبوطة ضبطًا دقيقًا، وتعتبر القواعد المثيرة للاهتمام سلعة نادرة في مجموعة من القواعد الممكنة.

وعلق هويل نفسه في برنامجه الإذاعي «موضع الإنسان في الكون المتوسع» علىٰ إذاعة الـ BBC في عام ١٩٥٠

«أعتقد أن خيال البشر غير الموجه لم يكن ليطلع علىٰ مثل هذه البِنْيَة التي وضعتها أمامكم   لم يكن بإمكان أي من عباقرة الأدب اختراع جزءًا واحدًا من مائة جزء لقصة تشبه في روعتها الحقائق الرصينة التي اكتشفها علم الفلك، كل ما عليك هو فقط مقارنة استكشافاتنا في طبيعة الكون بحكايات أساتذة

مرموقين مثل جولز فيرن Jules Verne وويلز Wells لرؤية تلك الحقيقة التي تفوق الخيال بفارق هائل»[1]

فالكون الحقيقي مدهش وشيء لم يكن بمقدورك تخمينه، والحياة ليست استثناءً من ذلك، فلا يمكننا بالطبع أن نأخذ أشياءً بعين الاعتبار بدون أن نُفكر فيها. وهذا الأمر صحيح دائمًا، وفي هذه الحالة لا يوجد سبب للقول بأن ما لا نعرفه سيلغي ما علمناه بالفعل، حيث إنه كلما تعلمنا المزيد عن الحياة ومكانتها في الكون، كلما أصبحت قضية الضبط الدقيق أقوىٰ. والأهم من ذلك كله، أن السبب وراء عجزنا عن تخمين مُسبق للكون يكمن في كونه أكثر ارتباطًا وأكثر تعقيدًا وأكثر تشعبًا مما يمكننا تصوره.

لكن إن شكل الحياة المنفجرة المضبوط ضبطًا دقيقًا يجب أن تكون بسيطة كذلك إذا كانت ستعيش في الأماكن المقفرة في فضاء المتغيرات، بالكاد يوجد معه جزيئًا للمرافقة. ويعتبر غياب أي من تلك النماذج المُرشحة صمتًا صاخبًا بالفعل، فإذا كانت الحياة بهذه السهولة، فلماذا نحن معقدون للغاية؟

الاعتراض الثاني عشر: يُفسر المبدأ الأنثروبي -الإنساني- وجودنا

التعقيب: هل يوجد شيء آخر يمكننا توقعه من كونٍ يحتوينا، ولكن لدية القدرة علىٰ التطور ودعم وجودنا؟ نحن موجودون هنا، لذلك فمن الواضح أننا يمكن أن نوجد هنا. فكيف نتفاجأ من عملية رصدٍ تَتْبَعُ بالضرورة حقيقةَ أننا أصلًا من نرصدها؟

الرد الموجز: لماذا توجد أشكال الحياة أساسًا؟ يوجد الكثير من الأكوان الممكنة التي لم نرصدها بعد. فلماذا لم يوجد كوننا بدلًا من واحدًا من هؤلاء؟ فالحقائق التي نستنتجها من وجودنا لا تفسر سبب وجودنا علىٰ الإطلاق. فلا تُجِيب الجملةُ الشرطية «إذا وُجد الراصد المادي، فسيوجد الكون الذي يسمح بوجود الراصد» علىٰ السؤال: «لماذا يوجد الراصدين؟»

---

(١) منشور في كتابه "The Nature of the Universe" (إصدار عام ١٩٥٠، صـ ١١٨).

الرد المُفصل: يمكننا صياغة تلك الحجة كالتالي:

المقدمة الأولىٰ: بما أنه يوجد راصدين ماديين، فالكون يسمح بالضرورة بوجود راصدين ماديين.

المقدمة الثانية: الراصدون الماديون موجودون.

النتيجة: فالكون يسمح بالضرورة بوجود الراصدين الماديين.

علىٰ الرغم من كونها تبدو حجة منطقية، إلا أنها غير صحيحة. نعرض المغالطة في المثال التالي:

أ) بما أن لديّ أربع تفاحات، فلديّ بالضرورة أكثر من تفاحتين.

ب) لديّ أربع تفاحات.

ج) فلديّ بالضرورة أكثر من تفاحتين.

يعتبر المثال في (أ) و(ب) صحيحًا حيث أن لديّ أكثر من تفاحتين، لكن هذا لا يعني أنه كان من المستحيل ألّا أمتلك أيَّ تفاح علىٰ الإطلاق؛ فهذا ليس صحيحًا بالضرورة. فقواعد الحساب في (أ) ليس هي من يُعطي التفاح.

يُعبر المنطقُ المشروط الحديث عن هذه الفكرة فيما يتعلق بالعوالم الممكنة. كما سنُبين بمزيد من التفصيل في الاعتراض التالي، يعتبر العالَم الممكن هو الطريقةً الكاملة التي يمكن أن يوجد بها الواقع، وهي حالة متسقة من العالَم لا يمكن أن تضاف إليها أي تفاصيل أخرىٰ بدون أن تجعل تلك الحالة غير متسقة. وجملة معينة ستكون صحيحة بالضرورة إذا كانت صحيحة أيضًا في جميع العوالم الممكنة. لذلك، يمكننا إعادة كتابة مقدماتنا المنطقية علىٰ النحو التالي. (أ) في جميع العوالم الممكنة التي لدي فيها أربعة تفاحات، يكون لدي أكثر من تفاحتين؛ (ب) لديّ في العالم الحقيقي (إشارة إلىٰ هذا العالم) أربعة تفاحات، يترتب علىٰ ذلك منطقيًا أن يكون لديّ أكثر من تفاحتين في هذا العالم الحقيقي، ولكن لا يترتب عليها أن يكون لدي أكثر من تفاحتين في كل العوالم الممكنة.

لاحظ جيدًا: المثال في (أ) يظل صحيحًا حتىٰ لو لم يكن لدي تفاح. بالمثل، حتىٰ في الكون الذي لا توجد به حياة ولا راصدين، سيكون أيضًا

صحيحًا أنه «إذا وجد راصدين، فالكون يسمح بالضرورة بوجود راصدين.» بالتأكيد، لا يمكن لـ (أ) أن يثبت وجود التفاح، وكذلك لا تجعل المقدمةُ الأولىٰ الحياة حتمية.

لا يُطرح هذا الاعتراض علىٰ الضبط الدقيق من أجل وجود الحياة في الكتب العلمية المتخصصة، ربما لأن العلماء - وعلماء الفلك علىٰ وجه الخصوص - يفهمون مسألة التحيز في الاختيار.

وقابلنا مسألة التحيز في الاختيار أعلاه، ولكن دعنا ندقق النظر فيها مجددًا. لنفترض أنك تريد أن تعرف من سيفوز في الانتخابات المقبلة؛ من الناحية المثالية، يمكنك حصر كل من يمكنه التصويت.[1] ولكن هذا غير عملي، ويمكن توفير الكثير من وقتك ومالك بحصر عينة مُمَثِلة: مجموعة كبيرة بما فيه الكفاية ومتنوعة بما فيه الكفاية من الناس من شأنها أن تمكنك من استنتاج كيف سيُدلىٰ كل السكان بأصواتهم.

فلو أحصيت ١٠٠ شخص من مركز التسوق المحلي، فكيف ستختبر ما إذا كانت عينتك تُمثل السكان؟ يمكنك -علىٰ سبيل المثال- تسجيل أعمار كل من شارك في الاستبيان. فوجدت أنه -بدون علمك- قد كان يوم الاستبيان هو يوم دفع المعاشات: فعشرون بالمائة من العينة لديك تُمثل الأعمار التي تزيد عن ٦٥ عامًا في مقابل عشرة بالمائة من عامة السكان. ولا تعتبر عينتك عديمة الفائدة؛ فلكي تعوض هذا الخطأ، صَنِّف كل مشارك حسب عمره ليمثل جزءًا مختلفًا من السكان. فقد كان من الممكن أن تصل إلىٰ نتيجة خاطئة لو أنك تعاملت مع كل أجزاء عينتك كما لو كانوا هم السكان.

هذا هو التحيز في الاختيار: تكمن عملية الاختيار فيما بين العينة (البينات التي لديك) والسكان (الأمر الذي تريد أن تعرف عنه). تجاهل هذه المعلومة علىٰ مسؤوليتك الخاصة.

---

(١) معلومة مُسلية: التصويت في أستراليا إلزامي والمتغيب عنه يتحمل غرامة، وقد تم تغريم جيرينت ٥٠ دولارا عندما فاته التصويت في انتخابات مجلس ما بعد شهور من حصوله علىٰ الجنسية الأسترالية.

ومن المعروف في علم الفلك أن ما نرصده لا يعتمد فقط علىٰ ما ننظر إليه، وإنما يعتمد أيضًا علىٰ الأداة التي تستخدمها في الرصد. لنفترض أن رصدك للمجرات يكشف أنه كلما كانت المجرة بعيدة، كلما زاد عدد النجوم. فهل هذا يعني أن المجرات البعيدة لديها المزيد من النجوم؟

انتظر دقيقة! لقد قفزنا للتو من عبارة حول عينة من المجرات إلىٰ عبارة حول جميع الأجسام في المجرات. دعونا نفكر لدقيقة في العينة المختارة؛ وجهنا التلسكوب الخاص بنا إلىٰ السماء بحثًا عن بقعات ضوءٍ ساطعة -من المحتمل أن تكون بقعات الضوء الساطعة عبارة عن نجوم في مجرتنا- والتي لا يمكن رؤيتها إلا إذا كانت المجرة ساطعة بدرجة تكفي لتُظهر نفسها حتىٰ فوق الوهج الخافت لأحلك السماوات باستخدام أكبر تلسكوب. فكلما بعُدت المسافة بيننا وبين المجرة، كلما كان من الضروري أن تكون أكثر سطوعًا لكي نراها كما ترىٰ الشموع المضيئة المنتشرة عبر الغرفة، لكن الأمر يتطلب فنارًا حتىٰ يمكن رؤيته عبر البحيرة. وكلما نظرت أكثر، كلما احتاجت المجرة إلىٰ المزيد من النجوم حتىٰ يتم اختيارها في نموذجنا.

ويمكننا بالتالي تفسير العلاقة بين المسافة ومتوسط عدد النجوم لكل مجرة في العينة لدينا دون افتراض وجود علاقة بين المسافة وعدد النجوم في الكون.

فلا يُفسر التحيزُ في الاختيار في حد ذاته أيَّ شيء، وإنما فقط تربط المجتمع الإحصائي بالعينة. وإنّ الإجابة علىٰ السؤال «لماذا تكون المجرات ساطعة جدًا؟» ليست «لأنه إن لم تكن ساطعة فلن نراها.» فيجب أن يكون هناك أولًا مجتمعًا إحصائيًا يتضمن مجرات ساطعة لكي نختار أي منهم في عينتنا.

ويعتبر أسلوب «المجتمع الإحصائي + التحيز في الاختيار» في التفسير شائعًا في العلم التجريبي. علىٰ سبيل المثال، التحيز في النشر هو ميل بسبب الملل «لم نعثر علىٰ أي نتائج مهمة» لتبقىٰ النتائج في درج مكتب الباحث. ولكن إذا أذيعت فقط التجارب التي وجدت تأثيرًا إيجابيًا للدواء الثوليوم الإعجازي

MiracleDrugTM فسيبدو أفضل مما يستحق.[1] فهذه التحيزات مهمة للغاية إلا أنها لا يمكن أن توجد بدون مجتمع إحصائي، فلا يُفسر التحيز في الاختيار وحده أيَّ شيء.

وبالتالي يمكننا أن نستنتج أن مبدأ الأنثروبولوجي -وهو أن الراصدين يجب أن يسكنوا عالمًا يسمح بوجود الراصدين- لا حول له ولا قوة. فهو يُفسر لماذا لا نرصد كونًا لا يسمح بالحياة، ولكنه لا يُفسر علىٰ الإطلاق وجود الكون الذي يسمح بالحياة. ولكن ماذا لو وُجد مجتمع إحصائي كبير ومتنوع من الأكوان سنناقش الكثير من ذلك في الفصل التالي.

الاعتراض الثالث عشر: من أين جاءت الإمكانيات؟

التعقيب: كيف نعرف أن كل هذه الأكوان الأخرىٰ ممكنة حقًا؟ فليس لدينا أي فكرة عن ثوابت هذه الأكوان، ولا النطاقات الممكنة للثوابت، ولا حتىٰ أنواع الأكوان الممكن وجودها.

الرد الموجز: تخلوا الأكوان الأخرىٰ التي أخذناها بعين الاعتبار من التناقض الداخلي، حيث قمنا بتغيير قوانين الطبيعة بطُرق لا تؤثر علىٰ تناسقها الرياضي. إذا كنت تعتقد بوجود مبدأ أقوىٰ يخبرنا بما هو ممكن وما هو مستحيل -والذي بسببه نستبعد أكوانًا معينة متسقة رياضيًا- فعَرِّفه لنا، ودافع عنه، وفسر لنا سبب أن الكون متيَّمٌ بالنجوم والكواكب والكيمياء والحياة. فهذه التفسيرات هي بالضبط ما نبحث عنه!

الرد المفصل: إن مصطلحات مثل «ممكن Possible» و«مستحيل impossible» و«ضروري necessary» و«مشروط contingent» (ليس صحيحًا بالضرورة ولا خطأ بالضرورة) كانت ولا زالت موضوع النقاش الفلسفي لآلاف السنين. وليس لدينا أي رغبة (أو في الواقع أي قدرة) في إلقاء محاضرة هنا عن المنطق الشكلي.

---

(١) نوصي بشدة بكتابين من تأليف بَن غولدكر Ben Goldacre، الأول Bad Science المنشور عام (٢٠٠٩)، والثاني Bad Pharma المنشور عام (٢٠١٤). يسلط الكتابان الضوء علىٰ تأثير تحيزات الاختيار علىٰ العلم في المجتمع الحديث، وخاصة بالإخبار عن الاختراقات الطبية.

يوجد ثلاثة معاني للمصطلح «ممكن Possible» والتي يمكن أن تكون ذات صلة بالضبط الدقيق.

الامكانية المطلقة Absolute possibility: إن أكثر الطرق وضوحًا لإثبات استحالة حدوث بعض الحالات، هو طريق التناقض الذاتي. فالكون الذي يحتوي ولا يحتوي علىٰ إلكترونات يعتبر فكرة مُجهضة من البداية. وقد ناقش الفكر الفلسفي الحديث فكرة أوسع: إمكانية مطلقة (أو ميتافيزيقية). علىٰ الرغم من أنه قد تكون هناك حالات لا يمكن للكون أن يكون عليها، إلا أننا لا نجد تناقضًا منطقيًا جليًا في مواصفاته. علىٰ سبيل المثال، لا يبدو أنه كان من الممكن أن تكون تمساحًا؛ لا يوجد أي تناقض في هذه العبارة، ولكن أي تمساح ليس هو أنت.[1] وبالمثل، لم يكن من الممكن أن يكون رئيس الوزراء هو الرقم الرئيسي.

فكر الآن في الادعاءات التي قدمناها حتىٰ الآن: إذا كانت قوانين/ثوابت الطبيعة (أ)، إذا فسيتصرف الكون كـ (ب). تعتبر هذه الجمل الشرطية المخالفة للواقع [جُمل مثل ماذا لو] مألوفة بالنسبة لنا، لكنها قد تبدو غريبة عند الفحص الدقيق؛ حيث تبدأ -بحسب التعريف- بعبارة خاطئة (تتناقض مع الواقع)، فعلىٰ سبيل المثال، إذا لم نكتب هذا الكتاب، فلن تقرأه.[2] غالبًا ما يُعتقد أن القوانين الفيزيائية تنطوي علىٰ افتراضات مخالفة للواقع: إذا تم فصل كتلتين بمسافة معينة، فستنشئ قوةَ الجاذبية المتبادلة بينهما بموجب قانون نيوتن للجاذبية.[3]

---

(١) ربما يُعتبر (بعد تشالمرز في عام ١٩٩٦) هذا النوع من الاحتمالية الميتافيزيقية عائقًا أمام العبارات التي نستخدمها لوصف العوالم الممكنة، وليس أمام العوالم الممكنة نفسها.

(٢) تتناقض الجملة الأولىٰ مع الواقع لأن الكتاب قد كُتب بالفعل وافتراض عدم كتابته لا ينفي بالضرورة النتيجة المستنبطة. المترجم

(٣) في هذه الحالة، لا تعتبر الجملة السابقة (أن كتلتن تفصل بينهما مسافة معينة) خاطئة بالضرورة؛ تسمىٰ هذه العبارات أحيانًا بـ «جمل شرطية ذاتية» لتمييزها عن المعنىٰ الأضيق للواقع المخالف counterfactual الذي ينطوي علىٰ مقدمة خاطئة. وسنستخدم المعنىٰ الأوسع للواقع المخالف لتغطية الحالتين.

يمكن تحليل الجمل الشرطية المخالفة للواقع فيما يتعلق بالعوالم الممكنة (بشكل مطلق)، فيعتبر العالَم الممكن هو الطريقةً الكاملة التي يمكن أن يوجد بها الواقع، وهي حالة متسقة من العالَم لا يمكن أن تضاف إليها أي تفاصيل أخرىٰ بدون أن تجعل تلك الحالة غير متسقة. لذلك، فكِر في الجملة الشرطية المخالفة للواقع «إذا كنت قد تأخرت عن العمل، فكان سيتم فصلك عن العمل.» إحدىٰ طرق فهم هذا الادعاء هي كما يلي: من بين العوالم الممكنة التي تأخرت فيها عن العمل، فإن تلك العوالم التي تُفصل فيها عن العمل كنتيجة لتأخرك ستكون هي العالَم الأقرب (أو أكثر شبهًا) بالعالم الحقيقي من تلك العوالم التي لم تُفصل فيها عن العمل بسبب تأخرك. علىٰ سبيل المثال، يتطلب الفصل من العمل فقط أن يحافظ مديرك علىٰ أساليبه التعسفية، ولكن إبقاؤك في العمل يتطلب رحمة غير معهودة.

إذا -فيما يتعلق بموضوعنا- هل الأكوان الأخرىٰ المضبوطة ضبطًا دقيقًا ممكنة بإطلاق؟

يبدو أن الضبط الدقيق هنا يستند علىٰ أرضية آمنة. نبدأ بالقوانين التي تصف الكونَ الحقيقي والتي تتم دراسة اتساقها الذاتي من الناحية الرياضية بشكل جيد. ثم نُغير قيم الثوابت الاعتباطية التي لا يعتمد عليها تناسق المعادلات. فنحن علىٰ وشك الوصول -أقرب ما نأمل إليه- إلىٰ وصف كامل ومتسق رياضيًا لعالم ممكن آخر.

الإمكانية الفيزيائية Physical possibility: إذا سمح الاتساق الرياضي للأكوان البديلة بالوجود بدرجة توحي بأنها ممكنة تمامًا، فماذا عن مبدأ فيزيائي أعمق؟ هل هذه الأكوان ممكنة فيزيائيًا؟

تذكر ما ذكرنا في الفصل الأول أن النظريات الفيزيائية لها أربعة مكونات: العناصر والثوابت والديناميكا (التي يصفها قانون رياضي) والحالة situation. وبالنظر إلىٰ الثلاث مكونات الأولىٰ، فيمكننا تجميع مجموعة من الحلول الرياضية

للقوانين، وتُمَثِلُ هذه الحلول أحوالًا تتسق مع القانون؛ أيّ أكوانًا يُعلن القانون أنها ممكنة. وهذه هي الإمكانيات الفيزيائية لنظرية معينة.

تنطوي نظرياتٌ مختلفة علىٰ إمكانياتٍ فيزيائية مختلفة. إن رحلة الفضاء الأسرع من الضوء ممكنة فيزيائيًا وفقًا للفيزياء النيوتونية، ولكنها غير ممكنة فيزيائيًا وفقًا لنسبية آينشتاين الخاصة. إذًا، هل الأكوان الأخرىٰ المضبوطة ضبطًا دقيقًا ممكنة فيزيائيًا؟

عندما نغير الظروف الأولية لنظرية ما، فنحن بصدد التفكير في أكوان مختلفة ممكنة فيزيائيًا. ثم يستكشف الضبطُ الدقيق للظروفِ الأوليةِ مجموعةَ الإمكانيات التي قد وفرتها قوانين الطبيعة بالفعل. فهذا الأمر غير مبني علىٰ أرضية آمنة.

ماذا لو قمنا بتغيير ثوابت القوانين أو حتىٰ القوانين نفسها؟ إذا افترضنا أن القوانين والثوابت محل البحث تعتبر جزءًا من قوانين الطبيعة المطلقة، فحسب التعريف لا يوجد قوانينِ أعمق يمكنها أن تفوق قوانيننا وثوابتنا المقترحة منتزعةً صلاحيتها باعتبارها مستحيلة فيزيائيًا. فهذه القوانين هي من تضعِ قواعد اللعب. مثال تشبيهي، اختراعك للعبة الداما لا يتناقض مع قوانين لعبة الشطرنج. وبالتالي، فإن تغيير هذه القوانين والثوابت ليس له علاقة بما هو ممكن فيزيائيًا أو غير ممكن.

ومن الناحية الأخرىٰ، إذا كانت القوانين التي نغير ثوابتها تقريبيَّةً لوصف قوانين أعمق، فإن السؤال الذي يطرح نفسه هو ما إذا كانت التغييرات التي تطرأ علىٰ «الثوابت» التي نعرفها غير ممكنة فيزيائيًا (إذا كانت ثوابت رياضية بالفعل) أو ممكنة فيزيائيًا (إذا كانت كيانات ديناميكية مثل الحقول، أو يمكن كتابتها فيما يتعلق بالثوابت الأخرىٰ). ولكن هذا هو بالضبط السؤال الذي يجب أن يدفعنا الضبط الدقيق إلىٰ طرحه، وقد يوجد في الفصل التالي إشارات يمكنها الإجابة عليه.

ومهما كان الأمر، فلا يزال أمامنا السؤال: لماذا يتم تحديد بعض العوالم الممكنة بشكل مُطلق باعتبارها عوالم ممكنة فيزيائيًا؟ يمكن أن يمدنا فهمنا للوازم هذه القوانين المختلقة بأطراف أدلة للإجابة علىٰ هذا السؤال.

الإمكانية التصورية Conceptual possibility: قبل أن نبدأ في التكهن بما هو ممكن بشكل مُطلق أو ما هو ممكن فيزيائيًا جوهريًا، يجب أن نقيِّم ما نعلمه. يجب أن نفكر في ما هو ممكن من الناحية التصورية وهو ما نعرفه جميعًا أنه ممكن.

نظرًا لأن الثوابت والظروف الأولية التي ناقشناها في هذا الكتاب حتىٰ الآن توجد في أعمق قوانين الطبيعة التي اكتشفها العلم، فلا يَستبعد أيُّ شيء نعرفه يحكم تلك الأكوان الأخرىٰ. فإنهم ممكنون علىٰ حد علمنا.

لكن لنفترض وجود -بدون علمنا- مبدأ منطقي أو ميتافيزيقي أو فيزيائي أعمق يعرقل بشدة مجموعة الأكوان الممكنة، فقد نجد أن العديد من الأكوان التي بحثنا عنها قد استبعدت بالفعل. ولكن هل يُشل هذا الأمرُ بحثنا؟ هل يجب أن نتوقف ببساطة حتىٰ نتأكد من عدم وجود مبدأ أعمق؟ لا علىٰ الإطلاق! وبالنظر إلىٰ مجموعة الأفكار بشأن الطريقة التي يعمل بها الكون، فإن ما يجب فعله هو اختبارها، ويعتبر هذا المبدأ العميق فكرة أخرىٰ يجب اختبارها.

باختصار، لا يبدو أن أي معنىٰ من معاني الإمكانية يخلق مشاكلًا لحجج الضبط الدقيق، ونحتاج فقط إلىٰ أقلهم إثارة للجدل: الاحتمالية التصورية.

إذا أصبحت الأكوان الأخرىٰ المضبوطة ضبطًا دقيقًا غير ممكنة، فسيكون ذلك بسبب وجود مبدأ قوي وعميق -وغير معروف حتىٰ الآن- للحقيقة المُطلقة قد أظهر ولعًا قويًا ومحظوظًا بتفاصيل تأسيسية دقيقة عن علم الكونيات، بداية بمقدار المادة إلىٰ كتلة الإلكترون. ونريد أن نعرف ما هو هذا المبدأ، وما إذا كان صحيحًا بالفعل. (ربما نجرؤ علىٰ السؤال عما إذا كان صحيحًا بالضرورة). لقد أخذلنا فضولنا لما تجاهلنا الأكوان الممكنة -علىٰ حد علمنا- دون سبب وجيه.

الاعتراض الرابع عشر: من أين جاءت الاحتمالات؟

التعقيب: حسنًا، سأضمن لك وجود بعض الأكوان الممكنة، ولكن كيف ستقوم بتعيين الاحتمالات لمثل هذا التجمع الغوغائي الذي يَصعب التحكم فيه؟ لديك عدد لا يُحصىٰ من الأكوان. علاوة علىٰ ذلك، ماذا ستعنيه حتىٰ تلك الاحتمالات؟ هل تفترض وجود آلة توليد أكوان تقذف أكوانًا وقوانين وثوابت بشكل عشوائي؟

الرد الموجز: يستخدم العلماء تفسير بايزي للاحتمالات Bayesian probabilities في اختبار احتمالات النظريات الفيزيائية، وهو ما يعكس درجة من المعقولية لادعاء معين - علىٰ حد علمنا. وبالتالي لا نحتاج إلىٰ افتراض مجموعة حقيقية أو حتىٰ خيالية من الأكوان ولا آلة عشوائية لتوليد الأكوان. فنحن نحاول التفكير بعقلانية، ويمكن أن تساعدنا الاحتمالات في هذا الأمر.

يمكن أن يعتبر تعين احتمالات لعدد كبير (أو حتىٰ لانهائي) من الإمكانيات مشكلة شائكة، ولكنها لا تتعلق فقط بالضبط الدقيق. تتنافس النظريات في العلم التجريبي لتفسير أدلتنا، ولابد أن نقارن النظريات التي نريد اختبارها بنظرياتٍ بديلة، بما في ذلك النظريات المختلفة التي تتعلق بالقوانين والثوابت والظروف. وتعتبر الاحتمالات اللازمة لفهم الضبط الدقيق للكون من أجل وجود الحياة هي احتمالات النظرية المختبرة في العلم التجريبي.

الرد المُفصل: إن السؤال «ما هي الاحتمالات؟» ليس سؤالا مباشرًا كما قد يتوقع المرء. سيتم نقر عملة معدنية غير متحيزة بطرف الإصبع في الهواء؛ فاحتمال ظهور وجه الصورة للعملة هو ٥٠٪ ماذا نعني بذلك بالضبط؟ تحتوي الكتب العلمية علىٰ مناقشات للعديد من الآراء حول قضية الاحتمالات، ونرفق هنا أربع تفسيرات مميزة.[١]

(١) نُعلق هنا علىٰ الاحتمالات التي تُناقش في العلوم الفيزيائية؛ ولا نحاول إدراج مراجعة شاملة للإحصاءات الرياضية ولا الإبستمولوجية (دراسة المعرفة) بشكل عام أو لفلسفة الاحتمالات بشكل خاص، وإنما استدعتنا الضرورة لاستعارة بعض المصطلحات الفلسفية الخاصة بالاحتمالات.

التكرارية المحدودة Finite frequentism: من بين جميع العُملات التي نُقِرَت للأعلىٰ، ظهر نصفهم تقريبًا علىٰ وجه الصورة للعملة.

التكرارية الافتراضية Hypothetical frequentism: إذا نقرت عملة غير منحازة للأعلىٰ عددًا غير محدود من المرات، سيظهر نصف عددهم علىٰ وجه الصورة للعملة.

الصُدف الموضوعية Objective chances: يميل النظام الفيزيائي لإبهامك والعملة المعدنية وكذلك الأرض إلىٰ إظهار وجه الصورة بنسبة ٥٠% من كل النقرات.

التفسير البايزاني الذاتي Subjective Bayesianism: كان اعتقادي الشخصي قبل نقر العملة المعدنية أن وجه الصورة للعملة هو من سيظهر بنفس قوة اعتقادي أن وجه الكتابة هو من سيظهر.

التفسير البايزاني الموضوعي Objective Bayesianism: حيث إن لدينا فقط معلومة «أن العُملة العادلة قد نُقرت،» فإن معقولية الاقتراح القائل «أن هذه العملة هبُطت علىٰ وجه الصورة» يتساوىٰ مع ذلك القائل «أنها هبطت علىٰ وجه الكتابة».

قد تكون كل هذا العبارات صحيحة، وبالتالي فنحن لا نبحث عن تفسير واحد صحيح للاحتمالات. علىٰ سبيل المثال، إذا كانت فرصة الصدفة الموضوعية لظهور صورة العملة هي النصف، فعادةً ما يُفهم هذا علىٰ أن التكرارية الافتراضية للصورة هي النصف أيضًا، وإنما تختلف هذه التفسيرات حول ما إذا تم تعين الاحتمال بالنتيجة الافتراضية للنقرات، أم إلىٰ خواص نظام العملة والإبهام والأرض.

سُميّ شكلين من هذه الأشكال علىٰ اسم القس توماس بايز Thomas Bayes -وهو خبير إحصائي وكاهن في الكنيسة المشيخية في القرن الثامن عشر- وتحمل مبرهنة الاحتمالات اسمه. مكتوب علىٰ قبره في لندن: «استُعيد هذا المدفن في عام ١٩٦٩ بمساهمات من خبراء الإحصاء من جميع أنحاء العالم».

يعتبر التمييز بين الشكلين البايزانيين (نظرية بايز) أمرًا مُراوغًا إلىٰ حد ما، ولكنه يمكن أن يُفهم علىٰ هذا النحو؛ يهدف التفسير البايزاني الذاتي إلىٰ تحديد قوة اعتقادات شخص معين. حيث يُعتقد أن الاحتمالات مقيدة علىٰ نَحْوٍ غَيْرِ مَضْبُوط من قِبَل الاتساق الذاتي وتعكس الاحتمالاتُ التحيزاتِ والأحكامَ المُسبقة غير المنطقية.

ومن الناحية الأخرىٰ، يحاول التفسير البايزاني الموضوعي اكتشاف القواعد التي تحكم العقلانية. تخيل إدوين جاينز Edwin Jaynes -الذي علىٰ وشك أن يصبح كتابه الدراسي الذي طُبع بعد وفاته «نظرية الاحتمالات Probability Theory» الكتابَ المقدس لاحتمالات في العلوم الفيزيائية- أننا نُبرمج إنسانًا آليًا (روبوت) عقلانيًا؛ حيث نقوم بتغذيته بمعلومات معينة «لقد نقرت للتو عملةً غير متحيزة»، ثم نسأله ليعطنا جملة «ظَهَرَ وجهُ الصورة للعملة». وتكمن مهمة الروبوت في تعيين الاحتمالات في ضوء المعلومات فقط التي استلمها. تهدف نظرية بايز للموضوعية إلىٰ توسيع نطاق فكرة إما الصواب أو الخطأ لتشمل درجات أخرىٰ من المعقولية، والتي تُقيّم حقيقة أن عبارات مثل «سوف تمطر السماء في غضون ساعة» -علىٰ الرغم من عدم إثباتها بالضرورة- تدعمها عبارات أخرىٰ مثل «تعلونا غيوم داكنة.» يعتقد أنصارُ هذه النظرية أن الاحتمالات يمكن أن تكون مُقيَّدة بشكل مُحكم (إن لم تكن بشكل فريد من نوعه) بمبادئ المنطق، وتهدف إلىٰ تطوير أساليب تتغلب علىٰ التحيز والأحكام المُسبقة الشخصية.

غالبًا ما يستخدم الفلاسفة مصطلح «الإقرارات credences» للإشارة إلىٰ التفسير البايزاني للاحتمالات ويُقصد بها هذا النوع من «درجة المعقولية»، وذلك لتمييزها عن التكرارات والصُدف. ويَدَعِي التفسير البايزاني الموضوعي أنه يمكننا في العديد من المواقف -وليس فقط في العلوم التجريبية- استخدامَ مبادئ العقل العامة لاكتشاف الإقرارات الخاصة بمفكر عقلاني مثالي. فإذا كنت عقلانيًا، فستكون إقراراتك الشخصية هي تلك الإقرارات الموضوعية.[١]

---

(١) سوف نستخدم في الغالب مصطلح «الاحتمالية»، لأن مصطلح «الإقرار» غالبًا ما يُفهم علىٰ أنه يعني =

اعتمدت الأوساط العلمية إلىٰ حد كبير التفسير البايزاني، بينما لازالت النقاشات مستمرة في الأوساط الفلسفية. وكشف بحثنا لنظام البيانات الفيزياء الفلكية التابع لناسا[1] عن أكثر من ٧٠٠٠ بحث مطبوع في الفيزياء وعلم الفلك يحمل في عنوانه مصطلح «بايزاني Bayesian»، بينما يحمل حوالي ٧٠ عنوانٌ فقط مصطلح «تكراري frequentist» ومن بينهم ٣٥ عنوانًا يحملون أيضًا مصطلح «بايزاني.» بينما أنه لازالت أساليب النظرية التكرارية تُستخدم، إلا أن التفسير البايزاني يهيمن الآن بشكل واضح. وعلىٰ الرغم من أن النظرية التكرارية كانت هي السائدة في الإحصاءات قبل بضعة عقود فقط، إلا أنها سريعًا ما أصبحت «الكلمة المحظورة» في تحليل البيانات في العلوم الفيزيائية.[٢]

وهناك بعض المميزات التي حَبَبَت الفيزيائيين في التفسير البايزي الموضوعي. فكر في الادعاء التالي لنعرف ذلك بشكل قاطع: بالنظر إلىٰ ما نعرفه عن النظام الشمسي، تعتبر نظرية أينشتاين العامة للنسبية (مثلًا) أكثر احتمالية

= البايزانية الذاتية. ويعتبر اصطلاح الاحتمالات مُراوغًا كما ذكرنا، ويعتبر الفرق بين التكرارات (خواص تكرار معين) والصُدف (خواص نظام فيزيائي) والإقرارات (درجات من اليقين أو الإعتقاد) قياسيًّا بشكل معقول. ومع ذلك، في بعض الأحيان يتم وصف جميع الاحتمالات البايزانية بأنها ذاتية، وبالتالي سنستخدم مصطلح الذاتية بمعناه الأقوىٰ: تصف الاحتمالات الذاتية (ولكنها لا تُحتم) الحالة النفسية لشخص معين، بينما يعني المصطلح بالنسبة للأخرين ببساطة أن الاحتمالات تعتمد علىٰ ما هو معروف. وأحيانًا ما تُطلق الاحتمالات البايزانية الذاتية علىٰ وجود تحديد لاحتمالية فريدة من نوعها وصحيحة لأي فرضية في ضوء أي معلومات متقدمة. وفي بعض الأحيان تسمىٰ الإقرارت بالاحتمالات المعرفية، وتسمىٰ أحيانًا الإقرارات الموضوعية بالاحتمالات المنطقية، وأحيانًا ما تسمىٰ الصُدف الموضوعية بالميولات الطبيعة علىٰ الرغم من وجود تمييز بينما في بعض الأحيان إلا أنه لا يمكن اختزال الميول إلىٰ أي شيء أكثر جوهرية. ونتمنىٰ للقارئ المهتم بالتعلم حظًا سعيدًا.

(1) www.adsabs.harvard.edu

(٢) نوصي بكتاب تالَب Taleb المنشورة عام (٢٠١٠) وكتاب ماكغرين McGrayne المنشور عام (٢٠١٢) وكتاب سيلفر Silver المنشور عام (٢٠١٥) للقراء الذين يرغبون في معرفة المزيد عن نظرية الاحتمالات الحديثة ودورها في العلوم، وقد جمع إيجل Eagle في بحثه المنشور عام (٢٠١١) بعض الآراء المهمة في فلسفة الاحتمالات وعلق عليها.

للصواب بمائة مرة من نظرية نيوتن للجاذبية. ما هي التفسيرات الاحتمالية التي تُؤدي إلىٰ مثل هذا الادعاء علىٰ الإطلاق؟

لا تصلح نظرية التكرارية المحدودة: فنحن لا ندَّعي أننا كنا نراقب النظام الشمسي يوميًا ونجده يقرر كل شهرين الخضوع لقوانين نيوتن ليوم واحد. كما أننا لم نلاحظ وجود مجتمع إحصائي من أنظمة الطاقة الشمسية، وبعدها اكتشفنا أن حوالي واحد من كل مائة نظام لديه ولع باستخدام نظرية نيوتن. ولنفس السبب تفشل نظرية التكرارية الافتراضية: لا تتدعي الاحتمالية أن لها علاقة بأي من أنظمة الطاقة الشمسية.

وتكمن مشكلة نظرية الصُدف الموضوعية في أنها تعطينا احتمالية البيانات التي أنتجت النظرية. ومهما كانت هذه الاحتمالات مهمة ومفيدة، فنحن نريد حساب احتمالية النظرية التي تُعطي البيانات لكي نُقيِّم النظرية الفيزيائية المقترحة. هذا يُمثل موقفنا: حيث إننا نعرف البيانات الرصدية التي قمنا بها، ولكن نريد أن نعرف النظرية التي تدعمها تلك البيانات، فالنظرية ليست صُدفية، وإنما النتائج صُدفية.

ولا ينكر مؤيدو هذه التفسيرات عدم قدرتها علىٰ تقدير احتمال نظرية معينة في ضوء التكرارات والصُدف. وفي الواقع، أعلن رونالد فيشر Ronald Fisher -قديس النظرية التكرارية- أنه «لا يمكننا أن نعرف شيئًا عن احتمالية الفرضيات»[١] وقد كان ذلك سببًا لرفض فيشر المبدئي في توسيع البحث عن الاحتمالات خارج التكراريات التجريبية. أما رد فعل العالِم المعاصر فيُرجح أن يكون: إذن ما الفائدة؟ لماذا ندرس العلم علىٰ الإطلاق إذا لم يُسمح لنا مطلقًا بالسؤال عما إذا كانت أي من نظرياتنا صحيحة أو حتىٰ معقولة؟

يمكن أن يقول التفسير البايزي الذاتي أن نظرية آينشتاين أكثر احتمالية من نظرية نيوتن، لكن هذا مجرد رأي، فيمكن للبيانات الفلكية الدقيقة تغيير تلك

---

(١) مقتبس من كتاب Aldrich إصادر عام (٢٠٠٨).

الاحتمالات الذاتية، أو سنظل في حالة نفسية سيئة. فقد طور العلماء أساليب للتغلب علىٰ التحيزات والأحكام المسبقة للبشر بهدف استنتاج تفسيرًا عن كيف تعمل الجاذبية حقًا، وليس عن كيف كان رأي كائن بشري معين عندما رأىٰ صور التلسكوبات. فما هي الغاية من العلم إذا لم يمكننا قول شيء عن الكون، أو حتىٰ عما ينبغي أن نصدقه بشأن الكون؟

وبما أن العلماء يستنتجون النتائج من البيانات، ونرسل نتائجنا إلىٰ المجتمع العلمي، ونتوقع أن تكون استنتاجاتنا قابلة للتكرار، فإننا نقترب من النهاية الموضوعية للتفسير البايزاني. إن التفسير البايزاني الموضوعي علىٰ وشك السيطرة علىٰ الممارسة الإحصائية في الفيزياء بسبب تميزه، وأساسياته القائمة علىٰ مبادئ محددة، وصلته الشفافة بين المبدأ والممارسة، ووضوح ووحدة الوسيلة؛ فيتيح لنا طرح الأسئلة الصحيحة المستنبطة من البيانات لدينا.

لقد كانت هذه المقدمة الطويلة لنظرية الاحتمالات ضرورية، حيث نحتاج إلىٰ فهم كيف تعتمد ادعاءات الضبط الدقيق علىٰ نفس الأدوات الرياضية مثل بقية ادعاءات الفيزياء. ويقول ادعائنا أنه يمكن فهم ادعاءات الضبط الدقيق في سياق التفسير البايزاني الموضوعي، وأن الصعوبات التي تواجهها في حساب الاحتمالات المعنية هي من نفس جنس الصعوبات التي تواجهها في تحليل أي نظرية فيزيائية.[١]

ولقد قدمنا الضبط الدقيق كدليل علىٰ شيء أعمق، شيء وراء قوانين الطبيعة كما نعرفها. ولكي نعرف السبب، فعلينا أن نسأل: إذا كان كل ما نعرفه هو (أ) أن كونًا معينًا يخضع للقوانين الطبيعة كما نعرفها، بدون تحديد قيم الثوابت

---

(١) هذا هو ردنا علىٰ المزيد من الاعتراضات التخصصية مثل مشكلة الضبط غير الدقيق coarse-tuning ومشكلة المعايرة normalization؛ انظر البحث الذي نشره ماكغريو وماكغريو وفيستراب McGrew, McGrew and Vestrup المنشور عام (٢٠٠٣). فغالبًا ما تواجهنا نفس هذه الأنواع من المشاكل مثل «ما حل المشاكل اللانهاية» في العلوم الفيزيائية خاصةً في علم الكونيات وبالتالي لا يمكن لهذه الاعتراضات أن تنتصر علىٰ نظرية الضبط الدقيق دون تشويه المنطق الاحتمالي في جميع الفيزياء.

الطبيعة والظروف الأولية، .و(ب) المعرفة الرياضية وهي تحديد احتمالية وجود أشكال الحياة في هذا الكون؟ ولقد وجدنا هذه الاحتمالية في الفصول السابقة تبدو ضئيلة للغاية.

إذا صدمك هذا السؤال واعتبرته غير مشروع علميًا، ففكر في الأسئلة الشبيهة له: فبنفس المعطيات المعروفة -(أ) و(ب)- ما هي احتمالية احتواء هذا الكون علىٰ مجرات؟ أو النجوم؟ أو الذرات؟ أو الماء السائل؟ بينما هذه الأسئلة تعتبر بالتأكيد أصعب من سؤالنا عن الحياة، إلا أنها نفس نوع الأسئلة. إنها أسئلة الفيزياء النظرية، ولاختبار نظرياتنا، نحتاج إلىٰ حساب (علىٰ الأقل تقريبًا) الاحتمالات المرتبطة بها.

لكن ما يثير الاهتمام خاصة هو ما يسمىٰ بالاحتمال المُسبق **prior probability** فيما يتعلق بالثوابت والظروف الأولية لنظرية معينة. وهذا هو القول باحتمال -علىٰ سبيل المثال- أن ثابتًا معينًا له قيمة معينة في نطاق معين صغير، وذلك دون أي معرفة عن كوننا. وهذا يعني أننا لا نستنتج الثابتَ من البيانات الرصدية، ولكننا نقيِّم الحقيقة الأولية التي تفيد أن نظريتنا لا تحدد الثابت، وبالتالي فنحن نجهل قيمته في غياب البيانات الرصدية.

يعتبر تحديد الاحتمالات المُسبقة مشكلة تقنية وشائكة إلا أنها ليست مشكلة تواجه فقط الضبط الدقيق علىٰ نحو فريد. ونحن في حاجة إلىٰ تلك الاحتمالات لأي حساب لاحتمالية نتائج نظرية معينة. نحن نعامل المصطلحات التقنية مع الثوابت كالمعاملات المزعجة لكي نحسب متوسطها. وبالتالي فنحن بحاجة إلىٰ احتمالات مُسبقة لاستنتاج القيمة الأكثر احتمالية للثوابت نفسها المستنبطة من بياناتنا الرصدية. إن الفيزيائيين الذي يريدون الاستنتاج من تجاربهم أن كتلة الإلكترون -بنسبة ٩٥% من المعقولية- تتراواح بين (٩٩٨ ٥١٠ ٩٣٩ ٩) و(٩٩٨ ٥١٠ ٩٥٢ ٣) keV/c^2 يحتاجون إلىٰ فكرة الاحتمالات المُسبقة.[١]

---

(١) فيما يلي التفاصيل الرياضية لأولئك المهتمين. باستخدام نظرية الإلكترون الفيزيائية المفضلة لدينا، يمكنك حساب الاحتمالية: بالنظر إلىٰ نظرية وقيمة معينة لكتلة الإلكترون (me)، فاحتمالية بيناتك هي (D). =

وكلما كانت بياناتنا جيدة جدًا، كلما قل اعتماد استنتاجاتنا علىٰ الاحتمال المُسبق. وبالمثل في حالات الضبط الدقيق: إن السرعة والقوة التي تحل بها الكارثة كأحد أطراف أصابع القدم في فضاء المتغيرات تُظهر أن احتمال وجود كونٍ يسمح بوجود الحياة -في ضوء القوانين وليس الثوابت- سيكون ضئيلًا للغاية بالنسبة لأي احتمالية مسبقة أمينة (وليست مضبوطة ضبطًا دقيقًا).

تَذَكَر أن هذا الاحتمال المُسبق يُمثل جهلنا بالمتغير فقط وليس خواص عملية التصنيع العشوائية للكون. وحقيقة أننا لا نعرف ما الذي يحدد الثابت لا يُفسد النظرية؛ وهذا بالضبط ما كنا نبحثه.

لقد ذكرنا بالفعل أن بحثنا عن الحياة في الأكوان الافتراضية قد أخذنا في الغالب (وإن لم يكن حصرًا) إلىٰ عوالم تشبه عالمنا. علىٰ سبيل المثال، تستعرض معظم حالات الضبط الدقيق أكوانًا لها نفس القوانين ولكن لها معاملات حرة مختلفة. هل هذا تحيز في البحث؟ نعم لصالح إيجاد الحياة. مثال توضيحي، من الجيد أن تبحث عن الفطر mushrooms بالقرب من الفطر الأخرىٰ. فإذا كانت الظروف مناسبة تمامًا لنمو الفطر حول شجرة معينة في الغابة، فمن المرجح أن تكون الأشجار القريبة منها أكثر احتمالية -من بعض الأشجار المختارة عشوائيًا- أن تكون مناسبة لنمو الفطر. وكذلك نُصدر حكمًا مسبقًا عند البحث عن الأكوان التي تشبه كوننا وذلك لصالح إيجاد أكوان تسمح بوجود الحياة. والأمر الأكثر إثارة للدهشة هو أن الأكوان التي تسمح بوجود الحياة نادرة للغاية حتىٰ في هذه العينة المتحيزة.

= نصيغ هذه المعادلة علىٰ هذا النحو: p(D |me B). نريد الآن أن نحسب اللاحق في p(D |me B) والذي هو احتمالية أن تكون كتلة الإلكترون بين (me and me + dme) في ضوء بياناتنا ونظريتنا. ونحسب هذا باستخدام صيغة متصلة من برهنة بايز: فلا يمكننا حساب البعدي علىٰ الإطلاق دون تقدير معين للاحتمال المُسبق p(me | B) dme والذي هو احتمالية أن تكون كتلة الإلكترون بين (me and me + dme) في ضوء النظرية وحدها دون مراعاة أي بيانات أخرىٰ.

دعنا نُلخص ما خلُصنا إليه: لم نُقدم هنا حُجة لا تحتمل إلا تفسيرًا واحدًا، ولكن فقط قدمنا عملية حسابية. ومن المؤكد أنه ليس لدينا صانعَ احتمال مُسبق مثالي مُسجل ببراءة اختراع؛[1] ولكن بالأحرىٰ فَكِر فيه علىٰ أنه وعيد: بأنه لا يمكن الفصل بين احتمالات الضبط الدقيق واحتمالات النظرية المختبرة في الفيزياء. وتعتبر النظرية المختبرة في التفسير البايزاني رائعة، رائعة جدًا حقًا. وأنه لعار حقيقي أن يطرأ عليها أي تغيير.

بعض الاعتراضات الأخيرة

تبقىٰ بعض الاعترضات علىٰ الضبط الدقيق والتي تظهر في أغلب الأحيان في معظم المناظرات حول الضبط الدقيق.

الاعتراض الأول هو أن ثوابت الطبيعة ستشرحها أبحاث أعمق في علم الفيزياء. وعندما نفهم حقًا قوانين الطبيعة، سنعلم لماذا لم يكن للكون أن يكون مختلفًا عما هو عليه، ولماذا لم يكن لهذه الثوابت أن تتخذ حقًا قيمًا تمنع وجود الحياة.

والاعتراض الثاني هو الأكوان المتعددة: يوجد مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأكوان، ولابد أن تَظهر فيها المجموعة الصحيحة من الثوابت في مكان ما. ولابد أن نرصد كونًا يسمح بوجود الحياة لأن ذلك الكون هو المكان الذي يعيش فيه كل الراصدين.

والاعتراض الأخير، وجود مصمم. يتمتع الكون بخصائصه هذه لأنه يحقق أهداف خالق الكون. نحن في عالم يسمح بوجود أشكالًا لحياة ذكية لأن هذه الفكرة بدت جيدة لشخص ما؛ علىٰ وجه الخصوص، شخص لديه المعرفة اللازمة لتصميم قوانين الطبيعة بشكل مناسب والقدرة علىٰ جلب هذا الكون إلىٰ حيز الوجود.

تتطلب هذه الاعتراضات علىٰ الضبط الدقيق ما يزيد عن إجابة مختصرة، لذلك ستكون هي محور مناقشتنا في الفصل الأخير.

---

(١) مع الاعتذار لرابطة الأنجلو-استرالية لمكافحة الجناس الاستهلالىٰ. [يمزح المؤلف بعد استخدامه جناس استهلالي لا يُحبذه بعض سكان استراليا -المترجم-]

٨- استئناف الحوار

يجب أن تهنئ نفسك علىٰ الوصول إلىٰ الفصل الأخير من كتابنا. لقد كانت رحلة طويلة، بداية من فيزياء الأشياء الصغيرة للغاية إلىٰ مجريات الكون بأكمله، متضمنة أجزاء كل شيء بينهما.

الرسالة: يمكن للعبث بتركيبة الكون أن يؤثر كارثيا علىٰ ظهور حياة معقدة مثلي ومثلك، وخاصة الظروف الفيزيائية التي تقوم عليها الحياة، مثل الطاقة الصالحة للاستخدام والكيمياء العضوية. واستنتاجنا هو أن الخصائص الأساسية للكون تبدو مضبوطة بعناية من أجل الحياة. فنحن بحاجة إلىٰ فضاء يتوسع ليس سريعًا جدًا وليس بطيئًا جدًا، ويشكل بنية، بمزيج من العناصر المستقرة التي يمكن أن تشكل النجوم والكواكب والخلايا، مع المزيج الصحيح من القوىٰ للنجوم لحرقها لمليارات السنين، مع الكثير من الكربون والأكسجين، مع ماض منخفض الإنتروبيا والطاقة الحرة في المستقبل، مع عدد من الأبعاد الداعمة للحياة، وحتىٰ مع قوانين أنيقة رياضيا وقابلة للاكتشاف. مثل هذا الكون هو أمر نادر بين أبناء عمومة الكون والأقارب البعيدين.

ينبغي أن يكون هذا مذهلا جدا! فعندما نجلس هنا علىٰ سطح هذا الكوكب الصخري الصغير، مع الشمس المشرقة وغيوم المطر في الأفق، أو في صخب وضجيج شارع مزدحم، أو المشي من خلال صمت المناظر الطبيعية المغطاة بالثلوج، حسنا، يبدو أن وجودنا هكذا طبيعي. ومع ذلك، يبدو أننا نتاج مقامرة

فلكية تجعل الفوز بمباريات Euro Millions تبدو وكأنها أمر مؤكد - وهذه فكرة مقلقة إلىٰ حد ما!

حسنا ماذا الأن؟

نود أن نعرف: لماذا الكون هكذا؟ قمنا بإزالة بعض الانحرافات في الفصل السابق. لكن لا يزال بإمكانك أن تتساءل عما إذا كان هذا سؤالًا يمكننا حتىٰ البدء في إجابته. تتراوح الأفكار المستوحاة من الضبط الكوني الدقيق من أجل الحياة من العلم الواقعي إلىٰ التخمين المجرد إلىٰ المضاربة المطلقة. من الصعب غالبا معرفة أيهم هو.

في هذا الفصل الأخير، نعود مجددا إلىٰ دردشة عالِمينا الكونيين منذ بداية هذا الكتاب. في خطر إفساد التشويق، لم نحصل علىٰ جميع الإجابات. سنبدأ المحادثة؛ ابحث عن بعض الأصدقاء الجيدين وبعض الشراب الجيد واستمر في ذلك عندما ننتهي.

استمرار المحادثة

الراوي: ها هو اليوم قد انقضىٰ، والشمس تغرب. ولا يزال عالما الكونيات يناقشان الضبط الكوني الدقيق من أجل الحياة. لقد أمضوا اليوم في الحديث عن الكواركات والإلكترونات، المادة المظلمة والفضاء، واتفقا علىٰ أن الكون كان يمكن أن يكون مختلفا بشكل كبير. قد يكون من السهل جدا أن يكون ميتا بشكل كبير. لقد بدأوا في التساؤل عما إذا كان يمكننا شرح سبب ظهور كوننا مضبوط بشكل موات جدا لحياة مثلنا.

جيريانت: لقد ناقشنا الكثير من الأشياء اليوم. تحتوي أفضل نظريات حول كيفية عمل الكون علىٰ عدد قليل من الأزرار المهلهلة. وحثنا علىٰ ذلك الفضول أو الانزعاج، لقد سألنا: ماذا سيحدث إذا قمنا بتدوير تلك الأزرار؟ كم من عوالم غريبة ورائعة قد تنتج؟

إن العبث بقوانين الفيزياء يمكن أن يشكل كارثة للحياة. غالبا، ما تكون الكارثة هي الملل. حيث يختفي الجدول الدوري، وكل الجمال والفائدة المدهشة للكيمياء تهجرنا. وتستبدل المجرات والنجوم والكواكب التي تستضيف وتنشط الحياة بثقوب سوداء قاتلة أو مجرد حساء هيدروجين رقيق، وبروتونات وحيدة تنجرف عبر مساحة فارغة، وحمام من الإشعاع الفاتر. فتلك أماكن باهتة للغاية بالفعل، وليست نوع من الأماكن الذي تتوقع أن تصادف فيه كائنات معقدة وعاقلة مثلنا.

لوك: في الواقع، من الصعب تخيل كيف يمكن أن تنشأ حياة من أي نوع. علىٰ سبيل المثال، إن حركة طائشة بالأزرار المسؤولة عن كتل الجسيمات الأساسية الرئيسية، كالكواركات أعلىٰ وأسفل والإلكترونات، ينتج عنه مادة بسيطة للغاية لا تشكل أي شيء.

جيرانت: ليس ذلك فحسب، ولكن يبدو أننا كنا محظوظين لنجد أنفسنا في الكون الذي ولد في حالة إنتروبيا منخفضة للغاية، مع الكثير من الطاقة المجانية لإدارة مختلف العمليات الضرورية من أجل الحياة. إن تصور كوننا الصغير خالي من أي شيء سوىٰ الثقوب السوداء، مع القليل من الطاقة المجانية، أمر يقشعر له جسدي. حقيقة، فأنا أرتعد من فكرة كل هذه الأكوان المحتملة التي تبدو عقيمة تمامًا. أعتقد أننا يجب أن نشعر بأننا محظوظون جدًا لأن نكون في عالم يمكن أن يحافظ علينا!

لوك: ولا تنس الأكوان العديدة التي تنهار بسرعة بعد ولادتها في الانفجار الكبير. في حين أن مثل هذه الأكوان قد يكون لها مكونات للحياة، فإن وجودها القصير يعني أنه لا يوجد وقت للنجوم والكواكب والجزيئات المعقدة والحياة قبل حلول النهاية، قبل أن يتم سحقها من الوجود. وتظل الأخرىٰ التي قد توسعت بسرعة كبيرة، تاركة المادة خفيفة للغاية لتشكيل النجوم والمجرات، أو في الواقع أي هيكل مهما يكن.

جيرانت: صورة قاتمة جدا. وبعد نحن هنا. علىٰ ما يبدو أن هذا الكون يمتلك الخصائص المناسبة، والوصفات المناسبة، وقوانين الفيزياء المناسبة، للسماح للحياة بالازدهار علىٰ الأقل علىٰ هذا الكوكب الواحد، وربما علىٰ العديد من الكواكب الأخرىٰ التي يكتشفها علماء الفلك. إنه يجعلك تتساءل، رغم ذلك، لماذا كوننا علىٰ ما هو عليه.

لوك: وفي هذه المرحلة علينا أن نكون حذرين. إننا نبتعد عن العلم ونحن عادة ما نمارسه ونتخيله. التوقع والتخمين تنتظر. لذا دعونا نحاول أن نكون منظمين حول استكشاف الخيارات.

دفاع ليدي غاغا

جيراينت: أحد الحلول التي تخطر بالبال مباشرة هو أن الكون فقط موجود -علىٰ ما هو عليه- وهذا كل ما في الأمر. مثل أغنية ليدي غاغا، لقد وُلد «بهذه الطريقة». إنه ببساطة ما هو عليه.

لوك: لكن لا يزال لدي أسئلة! لقد قطع العلم شوطًا طويلًا بموقفه «تابع البحث عن الإجابات». لماذا كتلة الإلكترون علىٰ ما هي عليه؟ لماذا ثلاثة أجيال من الكواركات؟ لماذا الكون متكتل كما هو؟ ما سبب التضخم، إذا حدث ذلك؟ المزيد من الفيزياء، من فضلك

جيراينت: هذه، بالطبع، أسئلة ممتازة. ولكن ما الخطأ في مجرد القول ببساطة، «هم فقط هكذا!» بعد كل شيء، من المفترض أن تتوقف تفسيراتنا في مكان ما.

لوك: يبدو وكأن أحد الوالدين ينهي سلسلة من أسئلة «لماذا؟» المرعبة لطفل ب «هم فقط هكذا، تمام!»، هذه ليست إجابة علىٰ الإطلاق. لا بأس أن أقول، «لا أعرف». إنه شيء آخر تمامًا أن تقول إن السؤال ليس له إجابة. ليس فقط أنني لا أعرف الإجابة حاليًا أو أنه لا أحد يعرف أو حتىٰ لا أحد يستطيع أن يعرف. فالقول «إنها هكذا فقط» يفيد أنه لا توجد حقيقة واقعية تجيب علىٰ

السؤال. يمكنك كتابة كلٰ حقيقة واقعية علىٰ قطعة كبيرة من الورق ولن تجد في أي مكان «هناك ثلاثة أجيال من الكواركات لأن   .».

الآن، إلىٰ جانب معرفة كل شيء، كيف نعرف أن سؤالا ما ليس له إجابة؟ متىٰ نلغي البحث؟ كتاب جيم هولت Jim Holt الترفيهي لماذا يوجد العالم؟ Why Does The World Exist? يقدم الدليل المؤقت التالي للاستفسار: «ابحث دائمًا عن تفسير ما إلا أن تجد نفسك في موقف يكون فيه التفسير الإضافي مستحيلًا» (٢٠١٢، صفحة ٢٣٧).

جيريانت: هذا يبدو معقولًا، وأعتقد أنه يُظهر الخطأ في «هم فقط كذلك». فلا يبدو أن هذه الأسئلة بخصوص الكون مستحيلة الإجابة. في الواقع، لقد أجاب العلم عن هذه النوعية من الأسئلة من قبل، علىٰ الأقل جزئيًا. فنحن لدينا خيارات، وحتىٰ تثبت فشلها يجب أن نستمر في البحث عن إجابة.

لذلك، في النهاية أنا غير راضٍ عن دفاع ليدي غاغا. إذ يبدو أننا نتجاهل المشكلة، وليس مجرد محاولة الإجابة عليها. الجهل المريح، ولكن بدون الراحة. ولكن ما الذي يجب أن نفكر فيه وحسب؟

المزيد من الفيزياء رجاء.

لوك: تذكر ما هذه الأوجه. إن أفضل النظريات التي لدينا عن الأشياء الأساسية للكون، وكيف يتصرف وكيف يتم ترتيبه، تحتاج إلىٰ عدد قليل من الأرقام أو المعايير. يجب إخبار القوانين بمدىٰ وزن الإلكترون، ومدىٰ قوة قوىٰ الطبيعة، ومدىٰ وجود المادة في الكون. من خلال هذه الأرقام، تتنبأ معادلاتنا بسلسلة من البيانات حول كيفية تصرف الكون: كيف تتحرك الإلكترونات في سلك، وكيف يسخن الضوء بشرتك، وكيف تدور الكواكب حول نجم، وكيف يتسع الفضاء. هذه الأرقام مهمة جدًا لفهمنا لمجريات الكون، ولكن لا يمكن حسابها، بل يتم قياسها فقط. فنحن لا نعرف لماذا هم علىٰ ما هم عليه.

هذه الثوابت الطبيعية ذات أهمية كبيرة بالنسبة للفيزيائيين، لأنها توفر طريقًا مباشرًا لقوانين أعمق. كيف نجد أدلة علىٰ قوانين الطبيعة الأعمق؟ ربما تجارب

جديدة، لكنها مكلفة ومحفوفة بالمخاطر. يمكن أن نظهر أن نظرياتنا الحالية لا تأخذ في الاعتبار بعض البيانات، ولكن هذا مفعم بالشروط والتحفظات؛ فهل نحل المعادلات بشكل صحيح، أم هل نفهم تمامًا تفاصيل تجاربنا؟

ولكن إذا كنت قد حصلت علىٰ نظرية جديدة يمكنها أن تتنبأ ببساطة وبقيمة طبيعية لقيمة ثابت أساسي، فأنت فائز. إنها تتوقع شيئًا حسب تعريفه لا يمكن للنظرية القديمة أن تتعامل معه.

جيراينت: إذن، هل نحتاج فقط إلىٰ المزيد من الفيزياء؟ عند النظر بعمق أكبر في مجريات الكون، ربما سنتعلم أن أزرار الطبيعة ليست حرة حقًا لتنحرف، ولكنها ثابتة علىٰ قيمتها.

لوك: نصّ أينشتاين علىٰ تلك الفكرة -حلما حقيقيا- بوضوحه المعتاد ١[(١)]:

أود أن أقدم نظرية لا يمكن أن تقوم في الوقت الحالي علىٰ أي شيء أكثر من مجرد الإيمان بالبساطة، أي معقولية الطبيعة: لا يوجد ثوابت اعتباطية بمعنىٰ أن الطبيعة مشكلة لدرجة أنه من المنطقي وضع مثل هذه القوانين المصممة بشدة بحيث لا تحدث ضمن هذه القوانين سوىٰ الثوابت المحددة عقلانيًا تمامًا (وليس الثوابت، وبالتالي، يمكن تغيير قيمتها العددية دون تدمير النظرية).

كان أينشتاين رجل ذكي! في قوانين الطبيعة، كما نعرفها حاليًا، يمكننا لي الأزرار دون تدمير النظرية. ولا تزال النظرية تصنع التنبؤات. رياضيا، كل شيء لا يزال يعمل. سيظل آينشتاين، جنبا إلىٰ جنب مع كل فيزيائي آخر، نظرية ذات عدد أقل من المعايير الحرة. فنحن نبحث دائمًا عن البساطة، ويبدو أن النظرية التي لا تحتوي علىٰ أي معايير حرة بسيطة جدا في الواقع.

جيراينت: حسنا، قد فهمتها. الأمل هو أن تقدم العلم سيتخلص في نهاية المطاف من هذه الثوابت، وكذلك التخلص من المفاتيح والأزرار التي كنا نعبث بها. سوف نجد أن خصائص مثل كتلة الإلكترون أساسية وغير قابلة للتغيير،

---

(١) في Schilpp (١٩٦٩)، ص٦٣. نعم، يستخدم لوك الحواشي فعلا في المحادثة.

وتنص عليها النظرية ذاتها. وسينبثق الكون، مشكلا بالكامل، من «نظرية كل شيء».

إذا كان هذا هو الحال، فسوف ندرك أن طلب الإلكترون أن يكون أثقل مثل طلب اثنين واثنين تساوي خمسة. ربما في يوم من الأيام سوف نفهم لماذا لم تكن الأمور علىٰ خلاف ذلك. هل انتهت هذه اللعبة؟

لوك: هناك الكثير لأقوله عن فكرة أينشتاين. هذا ما يحلم به الفيزيائيون - الجلوس بالقلم والورق، وكتابة بعض المعادلات البسيطة، وفهم من خلالهم كيف يتشكل كوننا. حتىٰ لو لم نتمكن من حل المعادلة تمامًا، فستكون الطبيعة لنا، علىٰ حد تعبير الفيزيائي النمساوي اللامع لودفيج بولتزمان Ludwig Boltzmann, مشكلة صعبة، ولكن ليست لغزا.

ومع ذلك، فإن الحلم ليس بهذه البساطة. بداية، لم تر القرون القليلة الماضية للفيزياء اتجاها ثابتا نحو عدد أقل من الثوابت الأساسية. أحيانا، توحد نظرية جديدة بعض الثوابت. وأحد أشهر هذه التوحيدات كان عمل جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell في أواخر القرن التاسع عشر، مما يدل علىٰ أن الكهرباء والمغناطيسية هما في الواقع وجهان لعملة واحدة. وأظهر أن ثوابت الكهرباء والمغناطيسية ترتبط بسرعة الضوء. هذه فيزياء عظيمة، وأساس الأسطورة العلمية. لكن في أوقات أخرىٰ، فإن الاكتشافات الجديدة قد تطلبت ثوابت أساسية جديدة.

لقد تبين أن أفضل أمل لدينا لنظرية بدون ثوابت حرة لم يكن مشجعا. يعتقد البعض أن نظرية الأوتار هي مستقبل الفيزياء الأساسية، وتوحيد الجاذبية وميكانيكا الكم في إطار واحد. كان من المأمول أن تتمكن نظرية الأوتار من حساب قيم أي كمية مادية مهمة، بما في ذلك الثوابت الأساسية.

ومع ذلك، فقد تبدد هذا الأمل عندما تبين أن نظرية الأوتار ليست «مصممة بقوة» كما حلِم آينشتاين. ما هي ثوابت الطبيعة بالنسبة لنا - الأرقام في المعادلة - هي الشروط الأولية لنظرية الأوتار - الأرقام في حل المعادلة. لكنها مع ذلك

معايير حرة، وهي بعيدة كل البعد عن «الثوابت المحددة بالكامل» من قبل أينشتاين.

جيريانت: إذن حلم أينشتاين لا يزال مجرد حلم. وهناك احتمال حقيقي أن يظل كذلك. عند التفكير في الأمر، يبدو أنه أسوأ مما قمت به. حتىٰ لو كان حلم آينشتاين حقيقيًا، فلن يظهر أن الكون لم يستطع أن يكون غير ذلك. إنه يظهر فقط أن الثوابت يتم تحديدها ضمن هذه النظرية الأعمق. ما زلنا نريد أن نعرف لماذا خضع الكون لتلك النظرية الأعمق.

حتىٰ لو لم تكن هناك بدائل ضمن النظرية الأعمق، فهناك بدائل للنظرية الأعمق.

لوك: أوافق! إذا كان حلم آينشتاين حقيقيًا، فبدلًا من كتابة كتب عن الضبط الدقيق لثوابت الطبيعة، فسنكتب كتبًا عن الضبط الدقيق لقوانين الطبيعة نفسها.

بدلًا من القيم البديلة للثوابت خلال نظرية ما، سنناقش النظريات البديلة. ولكن نفس كل مشاكل الضبط الدقيق ستنشأ. وقد أوجز كلا من برنارد كار Bernard Carr ومارتن ريس Martin Rees هذه النقطة بإيجاز في عام ١٩٧٩

حتىٰ لو كان من الممكن تفسير جميع المصادفات الأنثروبية بتلك الطريقة [بواسطة بعض النظريات الفيزيائية الموحدة غير المشكَّلة حاليًا]، فسيظل من اللافت للنظر أن العلاقات التي تمليها النظرية الفيزيائية تلك كانت هي أيضًا ملائمة للحياة. هذا يثير قضية أكثر جوهرية. انتقل إلىٰ لوحة بيضاء وأكتب أي معادلة تريدها. كل أنواع العواقب قد تتدفق من هذه المعادلة. إذا نقشت قانون نيوتن للجاذبية، فستكون إحدىٰ النتائج هي المدارات المنتظمة للكواكب حول الشمس، وهو أمر نراه في الكون. لكن النتائج المحتملة الأخرىٰ، مثل الكواكب التي تتحرك أسرع ١٠٠ مرة من سرعة الضوء، هي شيء لا نراه. إن حقيقة وصف شيء ما بمعادلة ما لا يعني أنه موجود في الكون. وبشكل عام، لا يمكن لأي

معادلة، مهما كانت جميلة أو بسيطة أو قائمة بذاتها، أن تحظىٰ بخضوع -امتثال- الكون.

هذا استنتاج رصين. إذ لا يمكنك أن تبدأ فقط بمعادلة ما وتخلص إلىٰ أن الإلكترونات موجودة. فالسؤال عن ما يجب أن يكون موجودًا وما هي الخصائص التي يجب أن يمتلكها ليس سؤالًا يمكن الإجابة عليه بالطرق المعتادة للعلوم. فإذا كنت تريد أن تقول إن الأكوان المانعة للحياة أمر مستحيل، فسيتعين عليك تقديم هذا النوع من الأسباب التي لا يمكن للعلم أن يقدمها.

جيراينت: أعتقد أنني أفهم ما تقوله، رغم أنه من الصعب التفكير في الكون دون تخيل العملية التي تحضره إلىٰ حيز الوجود وتطبع خصائصه. وربما تكون المشكلة هي أننا نعامل هذا الكون علىٰ أنه فريد من نوعه، وربما لا يمثل الضبط الدقيق مشكلة كبيرة إذا عدنا إلىٰ الوراء قليلًا. ماذا لو أن العملية التي أنجبت الكون أنتجت المزيد؟

لوك: لقد سمعت هذا من قبل، لكنه قد يبدو كلامًا جنونيا. فهل ستلعب ببطاقة الأكوان المتعددة؟

جراينت: بالضبط! دعني أشرح.

جيراينت: حسنا، ورغم أنني لا أظن أن الفيزياء ستكشف عن مجموعة فريدة من الخصائص الكامنة وراء الكون، وأن هذا هو الطريق الوحيد فقط الذي يمكن أن يكون عليه الكون، لكنني أعتقد أنه يوفر حلًا ممكنًا للضبط الدقيق.

لوك: سألعب لعبة «المتفرج الفضولي». كيف ذلك، صديقي المتعلم؟

جيراينت: حسنًا، تذكر أننا نعتقد أن الكون قد شهد موجة سريعة من التوسع بعد وقت قصير من ولادته، وهي فترة عرفت باسم التضخم inflation. ويحل التضخم بعض من مشاكل علم كونيات الانفجار الكبير القياسي، حيث يقدم تفسيرًا للسبب الذي يجعله -الكون- يبدو مسطحًا فضائيا، بالإضافة إلىٰ إصلاح مشكلة الأفق المزعجة. في حين أن التضخم فكرة مثيرة للإعجاب، إلا أن هناك عددًا من الآليات التنافسية التي تحاول شرح كيف يمكن أن يكون الكون

قد خضع لمثل هذا التوسع السريع. تختلف التفاصيل -كيف بدأ التضخم، وكيف انتهىٰ، وبالطبع، ما الذي تسبب به- ولكن في العديد منها، تخضع أجزاء مختلفة من الفضاء لكميات مختلفة من التضخم. في بقعتنا المحلية، يمكن أن يكون التوسع قصيرًا، ويتم تشغيله وإيقافه في لحظة. ولكن يستمر التضخم في بقع أخرىٰ، ولن ينتهي الكون أبدا من فضاء تضخمه.

والنتيجة هي وجود عدد كبير من البقع الأخرىٰ، بعيدة جدًا عنا حتىٰ يمكننا أن نفكر فيهم كأكوان منفصلين. في بعضها، كان التضخم أقصر من تضخمنا، وفي أخرىٰ، كان التضخم أكثر من ذلك بكثير، وفي البعض الآخر لن يتوقف أبدًا. إذا تم تغيير «ثوابت» الطبيعة وتعديلها في ظروف عالية الطاقة للغاية، فسيوفر الكون المبكر لكل منطقة متضخمة مجموعة مختلفة من الثوابت. وسيرىٰ المراقبون في البقعة -إذا كان هناك مراقبون- جسيمات وقوىٰ مختلفة وغير ذلك.

تُعرف هذه المجموعة الكبرىٰ من الأكوان الأخرىٰ بالأكوان المتعددة multiverse. في هذه المرحلة، يجب أن نكون حذرين في لغتنا. فالتعريف القاموس لـ «الكون» يعني كل شيء فيزيائي، كل الفضاء وكل الوقت. ومع ذلك، ففي سياق الأكوان المتعددة، تصبح الصورة غامضة، حيث يمكننا الآن الإشارة إلىٰ بقع فردية ضمن الأكوان المتعددة، بقع بقوانينها الفيزيائية الخاصة، باعتبارها أكوانًا فردية. وكما هو الحال مع كل العلوم التي لم تكتمل، فلا يزال هناك الكثير من الأشياء نجهلها.

جزء من المشكلة هو أنه لا يوجد تعريف واحد متفق عليه لمفهوم الأكوان المتعددة. بالنسبة للبعض، فإن الأكوان المتعددة ليست أكثر من بقع مختلفة داخل عالمنا، مع قوانين الفيزياء التي نقشها التضخم. بالنسبة للآخرين، فإن الأكوان المتعددة هي نتيجة صنع قرار ميكانيكا كم الأكوان المتعدد؛ فهي فكرة عوالم كثيرة التي نوقشت كثيرًا. بل إن البعض يعتقد أن أي بنية رياضية تعتبر «كونًا» حقيقيًا، بحيث يكون كل كون ممكن، بشكل ما، موجودا. أنا متأكد من أن هناك العديد من الأفكار الأخرىٰ الممكنة بشأن لأكوان المتعددة والتي لم نفكر فيها حتىٰ الآن.

فكرة الكون المتعدد تجعل بعض الناس غير مرتاحين. فهي بالنسبة للعلم تبدو تخمين بعيد للغاية، وقد يكون تصورها للواقع مربك.

فسيكون كوننا واحد فقط من بين العديد. وفي بعض الأكوان، الثقوب السوداء قاعدة، أو ليس للإلكترون كتلة، أو تدور الكواكب حول نجومها بشكل حلزوني. وكما رأينا مرارًا وتكرارًا، فإن الغالبية العظمىٰ من هذه الأكوان ستكون ميتة، وباردة وعقيمة وجرداء بحيث لا تمتلك الحياة فيها فرصة لتنشأ والازدهار.

لوك: كوننا علماء كونيات، فلماذا لا نحصر أنفسنا في أفكار الكون المتعدد التي يثيرها علىٰ الأقل ملاحظاتنا لهذا الكون والحاجة إلىٰ التوسع السريع بعد وقت قصير من ولادته؟ تم اقتراح هذا التضخم لحل المشكلات المختلفة في علم الكونيات. فقد افتُرض لجعل تلك الأكوان مسطحة تقريبا وانسيابية. لكن هذا لا يكفي لحل الضبط الدقيق؛ فنحن بحاجة إلىٰ لف كل من مفاتيح الكونيات وفيزياء الجسيمات. لماذا تعتقد أن التضخم سوف يتسبب في حدوث مثل هذا الخلط بحيث يتم خلط قوانين وثوابت الطبيعة؟

جيريانت: في الواقع، من الأفضل التفكير في التضخم علىٰ أنه هروب من حل المشكلة. فقوانين الطبيعة كما نعرفها تصبح أكثر تماثلا عند الطاقات الأعلىٰ. أعني بذلك أن القوىٰ المختلفة، القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية، تبدو متشابه جدا عندما ننظر إلىٰ تصادمات الجسيمات النشطة بشدة. في الاستقراء، خلال عراك الحرارة الفائقة في الكون المبكر، نعتقد أن القوىٰ المختلفة كانت في الواقع واحدة ونفس الشيء.

ولكن بسبب توسع الكون وبروده، وصل إلىٰ درجات حرارة حيث لم تستطع قوانين الطبيعة الحفاظ علىٰ هذا التناظر المثالي. فانكسر التماثل، وفقط عندما يحدث هذا فإن «ثوابت» الطبيعة (كما نعرفها) تأخذ قيمة معينة.

إليك شرح ذلك. لا يوجد شيء في عالم السيارات والقيادة عن السائقين الذين يفضلون القيادة علىٰ اليسار مقابل اليمين.[1] ٢ هناك تماثل المرآة. الشيء

(١) هيمنة أصحاب اليد اليمنىٰ هي استثناء، ولكن حتىٰ هذا ليس حاسمًا بشكل خاص.

الأكثر أهمية هو أنه عندما يتم كسر هذا التماثل، وعندما نختار أي جانب من الطريق سنقود عليه، فإننا جميعا نفعل ذلك معًا.

لوك: مزحة للتوضيح. كيث Keith يدخل إلىٰ حانة أسترالية خارجية.

كيث: لن أذهب إلىٰ أمريكا حتىٰ لو دفعت لي!

بارمان: لِمَ لا، كيث؟

كيث: حسنًا، فهم يقودون علىٰ الجانب الآخر من الطريق هناك.

بارمان: ما الخطأ في ذلك؟

كيث: جربتها في الليلة الماضية وهي خطيرة للغاية!

(ينتهي الحوار هنا، ويسود الصمت)

جرينت: لنمضي قدما. فكر في علبة مغناطيسات. إذا اهتزت العلبة بقوة، فسوف تهتز المغناطيسات حولها، وتسقط سوية وتتفتت. معظم الوقت، سوف تطير وتدور بحرية. لن يكون هناك مجال مغناطيسي صافي من الصندوق، حيث لا تظهر المغناطيسات أي تفضيل لأي اتجاه معين.

الآن، قم بإبطاء الأمر بتدرج. من غير المرجح أن تؤدي الاصطدامات علىٰ جوانب الصندوق والمغناطيسات الأخرىٰ إلىٰ قطع المغناطيس عن بعضها البعض، وهكذا تتطور المجموعات عندما تتحول المغناطيسات إلىٰ تشكيل محكم. مثل اختيار جانب من الطريق، تميل المغناطيسات إلىٰ اختيار بعض الاتجاه والمحاذاة وفقًا لذلك. سيتم دفع أي مغناطيس تمرد في خط القوة المشتركة لجميع الآخرين. يتم فرض التماثل المكسور.

افترض طرفي نقيض من المربع اختيار اتجاهات مختلفة. سيبدأون في فرض خيارهم علىٰ المناطق المحيطة بهم، وخلق تشكيلات أكبر مع مجال مغناطيسي جماعي أقوىٰ. عندما تجتمع هذه التكوينات المتنامية في المنتصف، يتم الوصول إلىٰ طريق مسدود، مع عدم القدرة علىٰ تكوين التزحزح الآخر. سيتم تجزئة الصندوق إلىٰ نطاقات، كل منها كسر التماثل بشكل مختلف.

نفس النوع من العملية يفسر تشكل ندفات الثلج. ففي الهواء الدافئ، يتواجد الماء كبخار وقطرات، كلها متطابقة. مع انخفاض درجة الحرارة، تبدأ ندفات الثلج منفردة في التكون مع تغير طور الماء من غاز إلىٰ صلب. وفي حين أن العملية الفيزيائية هي نفسها بالنسبة لكل منها، فإن الاختلافات البسيطة في نمط البداية، مثل قطعة من الغبار هنا أو شظية من الثلج هناك، تعني أن كل ندفة ثلج فريدة من نوعها.

لوك: هذه القياسات جيدة، لكن ماذا في هذه الأمثلة يتوافق مع المجال المغناطيسي أو بخار الماء في بداية الكون؟ ما هي التغييرات المرحلية -الطورية-؟

جيرينت: التضخم بحد ذاته مثال جيد. فالتضخم -أيا ما كان شكل الطاقة الذي تسبب في توسع الكون في وقت مبكر للغاية- يخضع لهذا النوع المفاجئ من التغيير عندما ينتهي التضخم. وأجزاء مختلفة من الكون تنهي مرحلة تضخمها في أوقات مختلفة، منتجة خليط من المجالات التي ذكرتها من قبل.

ولتطبيق هذه الأفكار علىٰ الثوابت الأساسية، فسيتعين علينا التخلي عن فكرة أنها ثابتة. إذ يجب أن نفترض كونها شيء آخر. فمعادلاتنا هي مجرد تقريب لبعض المعادلات الأعمق والأعظم حيث تكون «الثوابت» كيانات ديناميكية مثل الحقول.

عندما يكسر الكون تماثل هذه الحقول، يمكنه أن ينقسم إلىٰ مجالات. كل منها يحتوي علىٰ مزيج عشوائي إلىٰ خد ما من قيم الحقول فريدة من نوعها مثل ندفة الثلج. ويتم ملاحظة هذه الحقول المجمدة لقاطني كل مجال -إذا كان هناك أي منها- باعتبارها ثوابت الطبيعة.

ستكون المجالات متفاوتة الحجم، ولكنها محتمل أن تكون صغيرة مقارنة بالكون الذي نلاحظه. لكن هذا هو المكان الذي يأتي فيه التضخم: حيث تمددت بعض هذه المجالات لتصبح بحجم الكون وأكبر. وإذا ظل التضخم يطفو علىٰ السطح، فستكون هناك أكوان متعددة شاسعة من هذه المناطق، ولكل منها قوانين مختلفة.

ينتهي المطاف بالتضخم إلىٰ أن يصبح مثل العمال في فيلم «متروبوليس» Metropolis 1920s، والذي يحرك بقوة أقراص التحكم dials، وفي كل مرة يتوقفون فيها ينشأ كون جديد، بقوانين وليدة حديثا ومتميزة تمامًا عن قوانين الطبيعة!

لوك: حسنًا، أهنئك إذا حصلت علىٰ هذا المرجع. ٣[١]

جيراينت: لمن تتحدث؟

لوك: الصراصير.

دعنا ندخل في التفاصيل. هل لدىٰ أي أحد أي فكرة عن كيفية تغيير ثوابتنا إلىٰ أشياء فيزيائية وديناميكية؟

جيريانت: أفضل مرشح لدينا، في نظر الكثيرين، هو نظرية الأوتار string theory, كما ذكرت من قبل. كل قطعة من المادة والضوء، إذا استطعنا أن ننظر عن كثب بما يكفي، هي وتر يهتز في ١١ بعد. جاذبية هذه الفكرة -خلف كل الرياضيات[٢]٤- هو أنها تحتاج إلىٰ نوع واحد فقط من الأشياء. فبدلًا من اقتراح -افتراض- حوالي ٢٠ نوعًا من الجسيمات، فإن الأنماط المختلفة للوتر المتذبذب تجعلها تتصرف كجسيمات مختلفة.

حيث يأمل منظري نظرية الأوتار في أن يتمكنوا، ابتداءً من المعادلات الصحيحة، من استنباط جميع خصائص كوننا. وسيمكن التنبؤ بـ «ثوابت» معادلاتنا من خلال نظرية الأوتار. لسوء الحظ، لم يكن الأمر كذلك. بينما هناك أمل في أن تكون معادلات نظرية الوتر فريدة من نوعها، (وهناك جرس إنذار: فنحن حتىٰ لا نعرف المعادلات الكاملة للنظرية، هي تقريبية فقط)، فحلول النظرية هي حشد جامح. ما في الفيزياء الحالية هي من معايير حرة في معادلاتنا أصبحت معايير

---

(١) بالنسبة لأولئك الذين لم يشاهدوا هذا الفيلم الكلاسيكي، تم إعادة بناء المشاهد في الفيديو الموسيقي الكلاسيكي لـ Radio Ga Ga by Queen.

(٢) أو الرياضيات math، إذا كنت تفضل ذلك. علىٰ أي حال، لنعد إلىٰ الفيزياء

حرة في حل معادلات نظرية الأوتار. لقد غيروا الحالة -من الثوابت إلىٰ الشروط الأولية- ولكن ظلت كما هي حرة ولا يمكن التنبؤ بها كالعادة.

لوك: كيف تبدو هذه الحلول؟

جيريانت: في مستوىٰ ما، سيتعين عليهم أن يبدوا مثل كوننا، والذي ربما قد لاحظته أنت أنه ليس ١١ بعدا. يشمل كوننا علىٰ ثلاثة أبعاد مكانية وواحد زمني (يكتب الفيزيائيون هذه الأبعاد ٣ + ١). نظرية الأوتار خالية من التناقضات الداخلية في ١١ بُعدًا، ومن أجل خلق عالمنا المألوف ٣ + ١، فالأبعاد الإضافية يجب أن تكون مضغوطة -مدمجة-. سأشرح.

في ٣+١ أبعاد، نحتاج إلىٰ ثلاثة أرقام لإخبارنا بمكان حدوث شيء ما، ورقم واحد لإخبارنا متىٰ. علىٰ سبيل المثال، الحفلة في الشارع 7th Avenue، منزل رقم ٢٤، الطابق الخامس الساعة ٧:٣٠ مساءً. البعد يمكن أن يكون لانهائي أو مضغوط. فنحن نظن أن الفضاء لانهائي، إذ يوجد عدد لا حصر له من الأمتار لتقطعها. سطح الأرض، من جهة أخرىٰ، مضغوط - إذ لا يوجد سوىٰ عدد محدود من الأمتار حيث يمكنك السفر في خط مستقيم قبل أن تعود إلىٰ حيث بدأت. ف الأبعاد المدمجة -المضغوطة- يمكن أن تكون كبيرة أو صغيرة، وفقًا للمساحة المتاحة.

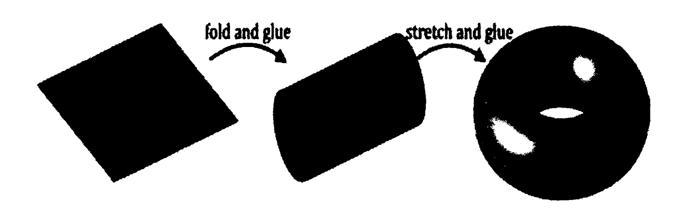
منذ قرن من الزمان، أدرك الفيزيائيون أنه إذا كانت هناك أبعاد إضافية صغيرة مدمجة -مكتزة- إلىٰ الزمان والمكان، فلن يتم ملاحظتها بالضرورة. مثل الذرات المفردة، ستكون أصغر من أن ترىٰ.

ثم لماذا تنزعج، ربما تتساءل. بالفعل، ستكون الأبعاد الإضافية خيالًا علميًا، ولكن من أجل الغرابة التي لوحظت في عام ١٩٢١ من قبل الفيزيائي الألماني ثيودور كالوزا heodor Kaluza. لقد كتب معادلة آينشتاين للنسبية العامة للكون ببعد إضافي مدمج. ووجد أن البعد الإضافي يولد معادلة إضافية، والتي -بشكل مذهل- كانت معادلة الكهرومغناطيسية! وأوضح أوسكار كلاين Oskar Klein في عام ١٩٢٦ أن تطبيق ميكانيكا الكم علىٰ هذا البعد الإضافي

سيفسر لماذا الشحنة الكهربائية مكممة، وهذا هو السبب في أن شحنات الجسيمات الأولية تأتي في وحدات عددية كاملة لبعض الشحنات الأولية. ربما ليست كلا من الجاذبية والكهرومغناطيسية قوىٰ منفصلة، ولكنها موحدة خلال بعد إضافي. فهل يمكن أن تُدمج القوىٰ والجسيمات الأخرىٰ خلال القليل من الأبعاد الأخرىٰ؟

وتعتبر نظرية كالوزا-كلاين Klein theory-Kaluza هذه بداية الطريق الذي يؤدي، بعد قرن من الزمان، إلىٰ الأوتار ذات ١١ بعد.[1] ٥ ما زلنا لا نعرف ما إذا كانت الفكرة صحيحة، لكن الأوتار بالتأكيد قد جذبت الكثير من اهتمام علماء الفيزياء.

لوك: حسنا. كنا نتحدث عن الضغط: لدينا نظرية ذات ١١ بعدا، ونحن بحاجة إلىٰ إخفاء كل تلك الأبعاد باستثناء ٣ + ١ (٣ فضاء + ١ مرة).



شكل ٤٧: كيف تصنع توروسا torus، وهو مثال بسيط للغاية علىٰ الشكل المدمج. تأخذ مستطيل مبسوط -مفرود- من المطاط. ثم اطوي الحواف الطويلة معا والصقها. ثم مدها حول نفسها والصق النهايات معا.

جيراينت: صحيح. لذلك، تعلق كل نقطة في المكان والزمان المألوفين لدينا علىٰ شكل أبعاد أعلىٰ، حيث يتم طي الأبعاد الإضافية لأعلىٰ. فلا يمكننا رؤية هذه الأبعاد، لكن الأوتار يمكنها ذلك. وهي تؤثر علىٰ كيفية تذبذب الأوتار، والتي تحدد أنواع الجسيمات التي نراها في تجاربنا. لذلك، فإن

---

(١) لا يمكننا سرد القصة كاملة هنا. كتاب براين غرين الكون الأنيق The Elegant Universe (1999) هو مقدمة رائعة لنظرية الأوتار.

«ثوابت» الطبيعة كلها مكتوبة في الاندماج compactification. ويحدد شكل الأبعاد الإضافية فيزياء الجسيمات التي نراها من حولنا.

بدأ منظري الأوتار بدراسة الأشكال البسيطة. التفكير في مستطيل ممتد من المطاط. اطوي الحواف الطويلة والصقها معا. ثم اثنها حول نفسها والصق النهايات معا. والنتيجة تعرف باسم توروس torus (انظر الشكل ٤٧). يمكن القيام بذلك خلال أبعاد أعلىٰ، مما يخلق مثالًا بسيطًا للغاية الشكل المدمج compact shape. لذا، ما هو نوع الجسيمات التي تبدو عليها الأوتار عندما تتذبذب حول توروس torus؟ تذكر أن الجسيمات يمكن أن تكون علىٰ اليمين أو اليسار، وهذا يتوقف علىٰ كيفية الدوران. يحتوي عالمنا علىٰ جسيمات تبدو نسخها اليمنىٰ مختلفة عن نسخها اليسرىٰ. واتضح أن هذا غير ممكن للأوتار علىٰ تورس torus، لذلك نحن بحاجة إلىٰ إيجاد شكل آخر.

وهكذا بدأ جهد كبير من قبل مجموعة من علماء الفيزياء والرياضيات في محاولة لإيجاد أشكال ذات أبعاد عليا مناسبة لوضعها في نظرية الأوتار. يمكن حل مشكلة اليد اليمنىٰ (chirality، في المصطلحات) باستخدام شكل خاص يُعرف باسم "Calabi-Yau mif". يتميز هذا الشكل بمقاييس متنوعة، مثل أحجام الأبعاد وعدد الثقوب في الشكل، إلخ. تتنبأ بعض هذه الأشكال بالجسيمات التي لا نلاحظها، والمعروفة باسم الجسيمات العددية معدومة الكتلة. بعضها فائق التناظر، ولكن كوننا ليس كذلك. ٦[١] وبعضها ببساطة غير مستقر.

ومن المثير للاهتمام، إذا تجنبنا هذه الأشكال غير المرغوب فيها، فإن الاحتمالات المتبقية تبدو محدودة. هذا الرقم، وفقًا للتقدير الأكثر شيوعًا، يبلغ نحو ١٠٥٠٠ - أي ١ يليه ٥٠٠ صفر. وقد سميت هذه المجموعة الواسعة من الاحتمالات بمشهد نظرية الأوتار من قبل ليونارد سوسكيند Leonard Susskind من جامعة ستانفورد.

---

(١) اذكر من الفصل ٣ أن «التناظر الفائق» يعني أن لكل جسيم ابن عم له نفس الخصائص باستثناء الدوران. ونحن لا نرىٰ هذا.

لوك: لكن المشهد ليس متعدد الأكوان. إنها مجرد مجموعة من الاحتمالات.

جيراينت: صحيح. مجموعة كبيرة من الاحتمالات لا يمكنها في حد ذاتها حل مشكلة الضبط الدقيق؛ في الحقيقة، إنها جزء من المشكلة. وكمثال علىٰ ذلك، فإن العدد الكبير من تذاكر اليانصيب المحتملة هو تحديدا ما يجعل الفوز أمرًا مستبعدًا. وللحصول علىٰ فرصة أفضل للفوز في اليانصيب، فنحن بحاجة إلىٰ شراء عدد كبير من التذاكر الحقيقية المختلفة.

يجدر بنا أن نقتبس من ساسكيند نفسه بشأن هذه النقطة، حيث غالبًا ما يساء فهمها: مفهومان -المشهد Landscape وكثرة الأكوان megaverse [أي الكون المتعدد multiverse]- لا ينبغي الخلط بينهما. المشهد ليس مكانًا حقيقيًا. فكر في الأمر كقائمة بجميع التصاميم الممكنة للأكوان الافتراضية. كل وادي يمثل واحد من قبيل هذا التصميم وعلىٰ النقيض من ذلك، فإن megaverse حقيقية تماما. فالتجاويف الكونية pocket universes التي تملأها هي أماكن موجودة بالفعل، وليست إمكانيات افتراضية. (٢٠٠٥، ص٣٨١)

لذلك، نحن بحاجة إلىٰ شيء مثل التضخم لنشر المشهد landscape بالفعل. في كون متضخم، قد تتحقق كل من هذه الاحتمالات، وربما عدة مرات.

لوك: إذن، وصلنا إلىٰ النقطة الأساسية، أين هي الحياة في تلك الضجة؟

جيريانت: هنا يكون المبدأ «الإنسائي_الانثروبي» مفيد بالفعل. نجد أنفسنا في الكون الذي تم ضبطه للحياة لأن خصائص هذا الكون سمحت للحياة أن تنشأ. لا نتوقع أن نجد أنفسنا في عالم كان موجودًا لثوانٍ فقط، أو في عالم لم يكن فيه بروتونات أو نيوترونات أو حتىٰ كيمياء.

لوك: بالنظر إلىٰ ما نعرفه عن الضبط الدقيق، فكم من الأكوان نحتاج لتُخلق للتغلب علىٰ المصاعب ونضمن وجود الكون الذي يسمح بالحياة من بين العديد من الأكوان المُنتجة؟

جيريانت: هذا سؤال صعب، فحقيقة نحن فقط ما زلنا نبدأ في معالجة فيزياء الضبط الدقيق. كما قد رأينا، يبدو أن هناك الكثير من الطرق المروعة لصنع الكون ميت، لذلك قد فضل الكون المتعدد صنع العديد من الأكوان إذا كان يريد إنتاج كون واحد يسمح بوجود الحياة. من حيث المبدأ، يمكننا الإجابة علىٰ هذا باستخدام مشهد الوتر - ما عليك سوىٰ العمل علىٰ كل الاحتمالات ولاحظ الجزء الذي قد يسمح بالحياة. إلا أن هذا مستحيل في الممارسة: فهناك عدد كثير جدا كما أن الحسابات صعبة للغاية.

لوك: نصّ ويليام أوكام الشهير بأنه «يجب عدم طرح التعددية دون ضرورة». فهل فرض عدد كبير من الأكوان، وإن لم يكن بالضرورة غير محدود، ينتهك شفرة أوكام؟

جيراينت: علينا أن نسأل السيد أوكام، تعددية ماذا؟ الأشياء؟

هذا لا يبدو صحيحا. وفقًا للنظرية الذرية، تحتوي هذه الغرفة علىٰ تريليونات من الذرات. ولكننا لا نجرم النظرية بسبب العدد الهائل من الذرات.

إنها افتراضات مستقلة يجب ألا تتضاعف إلىٰ ما هو ضروري، ذاك رأيي. تبدأ كل نظرية بمجموعة من العبارات الأساسية، والتي تتبع تنبؤاتها. إننا نفضل افتراضات أقل، لأنها تميل إلىٰ إنتاج نظريات أبسط مع أنواع أساسية أقل من الأشياء وقوانين أقل تخضع لها.

لذلك، سيتفادىٰ الكون المتعدد شفرة أوكام إذا كان يحتاج فقط إلىٰ بضعة افتراضات. نظرية الأكوان المتعددة التي ترتب كونا واحدا في كل مرة، مثل جائع صادف عشاء في أحد المطاعم، فهو معقد للغاية. ولكن إذا وجدنا مولدًا كونيًا بسيطًا نسبيًا، فإن حشد الأكوان العديدة والمتنوعة سيتم ببساطة نسبية. إذا استطعنا استعارة عدد قليل من قطع المولد من فيزياء معروفة، فإن عدد الافتراضات الجديدة لا يزال صغيرًا. هكذا تبدو أحدث نظريات الكون المتعدد؛ حيث يبحث علماء الكونيات الذين يستمتعون بأفكار الكون المتعدد عن مولد كوني.

لوك: دعنا إذن نفكر في تلك الأكوان الأخرىٰ. أولًا، أين هم؟

جيراينت: حسنًا، لقد فصلنا التضخم عنهم بمسافات هائلة، أكبر بكثير من حجم الكون المرئي. ونظرًا للتوسع المستمر، لن يصل إلينا ضوء هذه الأكوان الأخرىٰ. فهي غير قابلة للملاحظة.

لوك: حسنا، هذه نعمة ونقمة. وهذا ما يفسر لماذا يبدو أن كوننا لديه نفس الخواص في كل مكان يمكننا رؤيته. إن الخصائص الفيزيائية مثل الكثافة والثوابت الفيزيائية مثل كتلة الإلكترون والقوانين الفيزيائية للكون النموذجي ستكون هي نفسها في مناطق كبيرة للغاية، وذلك بفضل التضخم. ولكن إذا علّمنا تاريخ العلوم أي شيء، فإن اختبار نظرياتنا بالتجربة والملاحظة ليس اختيارا إضافيا. فنحن لسنا جيدين في تخمين شكل الكون. علينا أن نذهب وننظر. هل تصنع نظرية الكون المتعدد أي تنبؤات يمكننا اختبارها؟

جيريانت: علينا أن نتباطأ قليلًا هنا، فبينما لدينا بعض الأفكار الجيدة حول التضخم، إلا أن بعض التفاصيل الجوهرية مفقودة. فنحن لا نعرف ماهية التضخم. كما أننا نعاني من نفس المشاكل التي نجدها دائمًا عند النظر إلىٰ الانفجار الكبير، ألا وهي أن النسبية العامة وميكانيكا الكم لا يتم دمجهما معا. ولكن بمجرد التغلب علىٰ هذه العقبة الصغيرة، يمكننا التنبؤ بنوع الأكوان الذي يخلقه التضخم. سنظل لدينا معاملات نلعب بها، ولكنها ستكون المعاملات التي تحكم التضخم، وتدويرها سيؤدي إلىٰ مجموعة مختلفة من الأكوان في نظرية الكون المتعدد. وبعد ذلك يمكننا البدء في الحديث عن التوقعات! لذلك تخيل ضبطا معينا لأقراص -مفاتيح- التضخم. هذا الإعداد الخاص سيعطي أكوانه الخاصة الغريبة. ولكنه إذا كان وصفًا مقبولًا للطبيعة، كما نعرفها، فمن المؤكد أن عليها إنتاج الكون الذي نعيش فيه حاليًا! وإذا لم تتمكن نظريتك من القيام بذلك، أو إذا كان من غير المحتمل أن تفعل ذلك، إذا فهذا الإعداد الخاص لأقراص التضخم سيوجه ركام من النظريات غير الناجحة.

لوك: هذا ضعيف للغاية. نظرًا لأننا بدأنا من قوانين الطبيعة كما نعرفها، ثم أضفنا بعض الإضافات والملاحق لجعلها متضخمة، فلا ينبغي أن يكون مفاجئًا إذا كان كوننا هو أحد أماكن هذا المزيج.

جراينت: ليس بالضرورة. إذا كانت نظرية الأكوان المتعددة تتنبأ بأن عددًا من «الثوابت» تختلف علىٰ نطاق واسع، ولكنها تولد فعليًا ١٧ كونًا فقط، عندئذٍ يكون احتمال أن يكون أي منها يسمح بوجود الحياة ضئيل جدًا.

لوك: حسنًا، ولكن يجب أن يكون هناك المزيد لعمل تنبؤات باستخدام نظرية الكون المتعدد. فإذا ولّدت بعض الأكوان المتعددة أشكالًا كثيرة من الحياة، ولكن لم يلحظ أي منها -كما نفعل- ثلاثة أجيال من الجسيمات الأساسية أو الثقوب السوداء في مراكز مجراتها، فسيتم استبعاد تلك الأكوان المتعددة.

جيراينت: صحيح. إن تقديم الحياة في مكان ما هو أفضل ما تفعله الأكوان المتعددة -ما عليك سوىٰ الاستمرار في تغير ترتيب الأكوان حتىٰ تكون محظوظا. إذا كان هدفك رهيبا، وترغب بإصابة الهدف بدقة، فمن الأفضل رمي الكثير من السهام. ولكن عندما يتعلق الأمر بالتنبؤ بالملاحظات، فإن الكون المتعدد لا يحصل علىٰ رحلة مجانية. ضمن حدود المبدأ الأنثروبي الذي يقضي بضرورة أن يسكن المراقبون عالمًا يسمح بالملاحظة- ستختلف نظريات الأكوان المتعددة حول أي نوع من المراقبين وأي الملاحظات هي الأكثر احتمالًا علىٰ سبيل المثال: كم عمر الكون لمراقب نموذجي؟ كيف كان محظوظا؟ وما مدىٰ ضخامة الثابت الكوني؟ كم عدد أنواع الجسيمات؟ كم عدد النيوتريونات؟

إليك مثالا بسيطا. لنفترض أنني اشتريت قميصًا أزرقا من أحد قوائم متجرين، لكن لا يمكنني تذكر من أي متجر اشتريت. أنا متحمس جدًا بشأن الحجم، لكن إذا كان لدىٰ كلا المتجرين مجموعة كبيرة بما يكفي، فلا عجب أن يكون لديهما قميص يناسبني. وبالنظر إلىٰ أنني اشتريت قميصًا، بالطبع سأشتري قميصًا علىٰ مقاسي. من ناحية أخرىٰ، فأنا لست منزعجًا علىٰ الإطلاق بشأن

الموضة والألوان وما شابه، وسأختار عشوائيًا من القمصان التي تناسبني. فإذا كانت نسبة ٣٠ في المائة من القمصان التي تناسبني في «الكتالوج الأول» زرقاء، ولكن ٣ في المائة فقط من القمصان التي تناسبني في «الكتالوج الثاني» زرقاء، فمن الأرجح أنني اشتريت قميصي الأزرق من «الكتالوج الأول».



شكل ٤٨: في شارع اللانهاية، يوجد عدد لا يحصىٰ من المنازل، باللونين الأسود والأبيض. وقد استيقظت في أحد تلك المنازل. فهل احتمال وجودك في منزل أسود يبلغ نصف الاحتمالات، أم أنها «ما لا نهاية مقسومة علىٰ ما لانهاية»، والتي ليست بإجابة علىٰ أية حال؟

الآن، فقط فكر في القمصان كأكوان. أي نظرية للأكوان المتعددة، لتكون جديرة بهذا الاسم، ينبغي أن تعطينا قائمة من الأكوان التي من شأنها أن تكون موجودة. ونظرًا لأننا نراقب الكون، فقد اشترينا بالطبع واحدا في جزء «السماح بوجود المراقبين "observer-permitting" ولكن ماذا عن المودل أو اللون؟ إذا كان ٣٠ في المائة من الأكوان التي تسمح بوجود للمراقبين في الكتالوج الأول، علىٰ سبيل المثال، تحتوي علىٰ ثلاثة أجيال من الجسيمات مقارنة بثلاثة في المائة من الأكوان الموجودة في الكتالوج الثاني -نحن خلافًا لترددنا بين الاثنين- فيجب أن نفضل الكتالوج الأول.

لوك: تفترض بعض نظريات الأكوان المتعددة هذه عددًا لا حصر له من الأكوان الأخرىٰ. ما هو ٣٠ في المائة من اللانهاية؟

جيراينت: عندما يقترح الفيزيائيون نظرية، سواء أكانت حول الإلكترونات أو العواصف الرعدية أو المجرات أو الأكوان، فيجب أن يكونوا قادرين علىٰ حساب احتمالات الملاحظات المحتملة. فمثلا، إذا كنت تعتقد أنك تعرف كيفية عمل النظام الشمسي، فاستخدم بيانات اليوم من التلسكوب للتنبؤ بالشكل الذي ستظهر به سماء الليل غدًا.

لذلك، إذا كنا سنأخذها علىٰ محمل الجد كنظرية فيزيائية، فإن نظرية الأكوان المتعددة المقترحة يجب أن تبرر احتمالاتها. الآن، تعد اللانهائيات مشكلة، لأنه لا يمكننا مجرد إحصاء الأنواع المختلفة للكون. ما سنحصل عليه فقط هو «اللانهاية مقسومة علىٰ اللانهاية»، وهذا ليس رقمًا. علماء الكونيات يدعون هذا بمشكلة القياس.

ومع ذلك، في بعض الأحيان لا تبدو هذه اللانهاية ميؤوس منها. لنفترض أنك تستيقظ في منزل في شارع اللانهاية (الشكل ٤٨)، حيث يتم طلاء الأجزاء الخارجية من المنازل بالتناوب باللونين الأسود والأبيض، والشارع طويل إلىٰ ما لا نهاية.[1] ٧ فإذا كان هذا هو الطريق المحدد، مع وجود عدد محدود من المنازل، فإن احتمال وجودك في منزل أسود هو النصف. هذا صحيح بغض النظر عن طول مدة الطريق المحدد، لذلك يبدو أننا يجب أن نقول إن احتمال التواجد في منزل أسود في شارع اللانهاية هو النصف.

فكر في الأمر علىٰ هذا النحو: هل تدفع دولارًا لتخمين لون منزلك، حيث ستربح ١٠٠ دولار إذا كنت تخمن بشكل صحيح؟ هذا يبدو كرهان جيد. لكن إذا حاولت أخذ نسبة عدد المنازل السوداء إلىٰ إجمالي المنازل في شارع اللانهاية، فإنك تحصل علىٰ احتمال لما لا نهاية مقسوما علىٰ ما لا نهاية. لا يمكنك فعل

---

(١) يأتي هذا المثال من حديث أدلىٰ به Cian Dorr وFrank Arntzenius بعنوان «معتقدات تحديد موقع الذات في عوالم لانهائية»، ألقاها في مؤتمر فلسفة علم الكونيات، تينيريفي Tenerife 2014 (youtu.be/OtxZ_wLb_84).

أي شيء بهذا. فإذا كنت لا تعرف فرصتك في الفوز بمبلغ ١٠٠ دولار، فأنت لا تعرف ما إذا كان عليك أن تخوض الرهان أم لا

هذه اللانهائيات اصعب مما تبدو عليه. يمكنني إعادة ترتيب المنازل في شارع اللانهاية لجعل، مثلا، كل منزل رقم ألف أسودا. أنا لم أفقد أي من المنازل؛ انهم جميعا في مكان ما. لكن النمط الآن كالتالي ٩٩٩ أبيض، ١ أسود، ٩٩٩ أبيض، ١ أسود في كل مكان في شارع اللانهاية. الآن جائزة ١٠٠ دولار لا تبدو كصفقة جيدة.

المشكلة هي هذه: لا يمكننا تعيين الاحتمالات في شارع اللانهاية بطريقة لا تمانع إذا قمنا بعد ذلك بخلط المنازل. لذلك، لدينا خياران. يمكننا المطالبة بالحق في خلط ورق اللعب، وهكذا

نتخلىٰ عن شارع اللانهاية، ورفض أن يقول أي شيء عما هو مرجح أو غير مرجح. بدلًا من ذلك، يمكننا أن نتخلىٰ عن الحق في خلط ورق اللعب، والبحث عن طريقة لعلاج شارع اللانهاية كما لو كان حقا طريقًا طويلًا محددا.

عند تطبيق هذا علىٰ أكوان متعددة لا حصر لها، فيبدو أن عالم الكونيات المغامر أمامه خياران: إما أن يوفر طريقة مقنعة لقياس تلك اللانهاية المزعجة، وإلا فإن النظرية تفشل في تقديم تنبؤات، ولذا ينبغي التخلص منها. كلا الخيارين مثيران للاهتمام، وما زال علماء الكون يجادلون.

لوك: حسنا. بما فيه الكفاية مع الرسوم التوضيحية والقياسات. دعونا نرىٰ مثالا

جيريانت: في أواخر الثمانينيات من القرن الماضي، كان عالم الفيزياء الحائز علىٰ جائزة نوبل ستيفن وينبرغ يفكر في الثابت الكوني، وعلىٰ وجه الخصوص المساهمة من طاقة الفراغ. تذكر أن هذا قبل عقد من الزمان قدمت ملاحظات المستعرات الأعظمية البعيدة أدلة جيدة علىٰ الثابت الكوني.

ظل واينبرغ Weinberg يتساءل: ماذا لو كان الكون لديه ثابت كوني؟ كما رأينا في الفصل ٥، فلن يؤثر الثابت الكوني الصغير بشكل كبير علىٰ الكون

وسكانه. ولكن إذا كانت شدة قوة تسارع الكون تلك أكبر، فإن ذلك سيمنع تكوين النجوم والمجرات.

لذلك، في رأيه، تصور واينبرغ الكون المتعدد، بقيم مختلفة للثابت الكوني خلال أجزاءه. في معظم الأماكن، فإن الثابت الكوني يجعل الفضاء يتوسع بسرعة كبيرة أو ينهار بسرعة كبيرة حتىٰ تتشكل المجرات. وخلال نطاق ضيق يمكن أن تزدهر المجرات، وهنا نتوقع أن نجد كوننا.

بعد عقد من الزمان، اكتشف علماء الكونيات أنه لا يوجد ثابت كوني فحسب، بل إنه بنفس حجم تنبؤ واينبرج! التنبؤ الكوني الناجح بناء علىٰ فكرة الكون المتعدد!

وقد حاول علماء آخرون إنتاج تنبؤات مماثلة للثوابت الأخرىٰ بدرجات متفاوتة من النجاح. تلك مشكلة صعبة، لكن يمكن أن يهاجمها الفيزيائيون وعلماء الكونيات.

لوك: إذن، يمكننا إعطاء بعض الأكوان المتعددة فرصة مشروطة. هل يمكن أن نجعلهم يفشلون؟

جرينت: بالتأكيد. في الواقع، كثير منهم! إن الأكوان التضخمية نفسها تغرق بالفشل بالطريقة التالية. اعتبر اثنين من البقع المتطابقة في الكون، أطلق عليهما أ وب، التي تتضخم للضعف وتضاعف حجمها بشكل مدهش في فترة زمنية قصيرة. إنهما في مسابقة لمعرفة من سيشكل معظم الحياة في وقت لاحق، لنقل، بعد مليار سنة. لكن الحياة لا يمكن أن تتشكل بينما المنطقة لا تزال تتضخم - فليس هناك مادة! وسيتعين عليهم توقف التضخم، وإنتاج المادة، وتلك المادة تنهار في المجرات والنجوم والكواكب وما إلىٰ ذلك.

لذا، ماذا ينبغي أن تكون استراتيجيتهم؟ المنطقة (أ) تقرر التوقف عن التضخم الآن، لكسب مزيد من الوقت قبل الموعد النهائي لإنشاء الحياة. في حين تقرر المنطقة ب أن تتضخم لفترة أطول قليلًا، علىٰ أمل أن يتم تعويض

البداية المتأخرة بمزيد من الفضاء، والمادة، والنجوم والكواكب، ونأمل بذلك المزيد من الحياة.

من يفوز؟ هناك نوعان من النطاقات الزمنية ذات الصلة. فهناك وقت يحتاجه الكون لإنشاء مجرات ونجوم وحياة، أي ما لا يقل عن ملايين -إن لم يكن مليارات- من السنين. هناك أيضًا وقت يحتاجه التضخم لمضاعفة حجم الكون، وهو تقريبا ١٠ - ٣٨ ثانيةا. لذلك، إذا انتظرت (ب) ثانية واحدة لمدة أطول من (أ)، فستكون هناك ثانية واحدة أقل لتشكيل الحياة، والتي لن تُحدث فرقًا تقريبًا، وبقعة الكون التي قد تضاعفت في الحجم ١٠٣٨ مرة أكثر من (أ). إنه ليست مجرد ١٠ ٣٨ ضعف بل هي ٢ قوة ١٠ ٣٨ ضعف. هذا رقم يحتوي علىٰ أكثر من تريليون تريليون رقم.

لذلك، (ب) تفوز بهامش زائف. في أي وقت بعينه، فسيفوق عدد المراقبين في الأصغر بثانية واحدة عددنا بنحو سكيليون [غالبًا ما يتم استخدام كلمة سكيليون squillion كمسمىٰ عشوائي للدلالة علىٰ أعداد كبيرة غير محددة، كما نقول عندنا دشليون مرة أو دشليار مرة وهكذا] ضعف. معظم المراقبين هم من أوائل الناشئين بشكل مهيب في بداية الكون الصغير، وظهورهم علىٰ أول كوكب متاح. يبدو أن الأكوان التضخمية المتعددة تتوقع أننا سنكون أصغر سنا من كوننا أكبر سنا. وحيث، أننا أكبر، إذا هنا تنتهي النظرية.

حسنا، ليس تمامًا. في الواقع، يبقىٰ التضخم علىٰ قيد الحياة. المشكلة في الحجة أعلاه هي أنها نظرت إلىٰ الكون بأكمله في وقت معين. هذا لن يفي بالغرض، لسببين. أولًا، تمنع النسبية أي محاولة لتعريف «الآن» كونبا. ثانيًا، يبدو أننا يجب أن نفكر في الكون ككل في المكان والزمان. يجب علينا أن نستقصي ليس فقط المراقبين «الآن»، ولكن جميع المراقبين في الماضي والمستقبل.

من الفظيع أن الناهضون الأوائل هم في أكوان من المفترض أن تستمر في تكوين مراقبين مثلنا بالطريقة المعتادة لنموذج تطور المجرة-النجم-الكوكب،

وجعل المزيد من هؤلاء المراقبين بالطريقة المعتادة. نظرت في هذا الطريق، قد يفوز الأكبر سنا بعد كل شيء.

هذا جانب آخر من مشكلة القياس: كيف يمكننا استقصاء الأكوان المتعددة؟ بتعبير أدق، ما هي مجموعات المراقبين التي نقارنها من أجل صنع تنبؤات؟ لهذا السبب قلت إن التضخم ينجو، بدلًا من ينجح.

لوك: هل هناك أي حالات فشل واضحة؟

جرينت: بالتأكيد! فشل ملحمي. الآن، أنا أحذرك، هذا سيصبح غريبًا بعض الشيء.

يمكن القول إن لودفيج بولتزمان Ludwig Boltzmann، الذي التقينا به قبل لحظات قليلة، اقترح نظرية الأكوان المتعددة الأولىٰ في عام ١٨٩٥. كان لديه مشكلة: القانون الثاني للديناميكا الحرارية يشير إلىٰ أن الكون يتجه نحو التوازن الحراري. يبلغ عمر الكون حوالي ١٣.٨ مليار سنة، وهو يبدو قديمًا تمامًا، لكنه ليس شيئًا مقارنةً بخلود السنوات المقبلة. كان الاعتقاد الشائع في يوم بولتزمان هو أن الكون كان أبديًا، بلا نهاية في الماضي. ومع ذلك، لا يزال الكون بعيدًا عن حالته النهائية. لماذا ؟!

كان لدىٰ بولتزمان فكرة جذرية. لقد كان من بين أول من أدرك أن القانون الثاني هو قانون إحصائي، ولتقدير ما يعنيه هذا: فمن غير المؤكد، ولكن مرجح بشكل ساحق، أن إنتروبيا النظام المغلق سوف تزداد بمرور الوقت. مرارًا وتكرارًا، ينشأ النظام تلقائيًا من الفوضىٰ. لذلك، هل تحتاج إلىٰ بعض طاقة الانتروبيا المنخفضة؟ فقط انتظر وقت طويل حقا. اعتقد بولتزمان أنه علىٰ الرغم من المظاهر، يكون الكون ككل في حالة توازن حراري، يشبه المستقبل البعيد الذي نتوقعه من جانب الكون الذي نراه حولنا.

معظم الكون سيكون بلا حياة، بدون الكثير من بقايا طاقة الانتروبيا المنخفضة لصنع أي شيء يمكن أن يستقلب أو يتكاثر. ولكن إذا انتظرنا فترة

طويلة بما فيه الكفاية، فإن منطقة الكون سوف تتقلب إلىٰ حالة الانتروبيا المنخفضة. ومن ثم يمكن للحياة ركوب الانتروبيا للعودة إلىٰ التوازن.

فكر في هذا للحظة. إذا كان هذا هو الحال، فإن الكون المثير الذي نراه حولنا هو في الحقيقة تقلب إحصائي، منخفض الانتروبيا في بحر من الفوضىٰ. كان يمكن أن يكون الكون الكلي موجودًا إلىٰ أجل غير مسمىٰ -أو حتىٰ إلىٰ ما لانهاية- قبل التقلب الذي أصبح كوننا. وربما كان هناك عدد لا يحصىٰ من الأكوان الأخرىٰ التي ولدت من تقلبات قبل عالمنا، وسيكون هناك عدد لا يحصىٰ منها بعد أن نتلاشىٰ مرة أخرىٰ في الخلفية الرتيبة!

لوك: مثيرة للاهتمام، رغم كونها قاتمة بعض الشيء. لكن أين تفشل الفكرة؟

جيراينت: دعنا نلقي نظرة علىٰ جميع صور الحياة في الكون. وليس فقط صور الحياة في لحظة معينة، ولكن أيضًا صور الحياة علىٰ مدار التاريخ الكوني الهائل لهذا الكون المتعدد. وكما ذكرت، حتىٰ لو كان هيكل متعدد الأكوان هذا بكامله مولودًا حيويًا، فإن الغالبية العظمىٰ من وقته تُقضىٰ في تلك الانتروبيا العالية، الحالة الميتة.

بالنظر إلىٰ الأبدية المتاحة، نتوقع أن تزيد ضور الحياة في التقلبات بشكل كبير عن أشكال الحياة التي ازدهرت عندما كان الكون في شبابه ذو الإنتروبيا المنخفضة. في هذه الصورة، نحن، علىٰ الأرجح، تقلب عشوائي في كون ميت إلىٰ حد ما.

لوك: لا تزال قاتمة. تابع.

جيريانت: حسنًا، اسمح لي بتقديم أدمغة بولتزمان.

لوك: يبدو وكأنه اسم جيد لمجموعة دراسة الفيزياء الإحصائية ١٠١.

جيراينت: أو فرقة شعبية الأكثر غرابة!.

دعنا نفكر في هذه التقلبات الإحصائية أكثر قليلا. يتعرض الهواء المحيط بنا إلىٰ مثل هذه التقلبات، ولكن يجب عليك الانتظار وقتًا طويلًا حتىٰ تتقلب

الذرات بطريقة لتجميع إبريق الشاي. نحتاج إلىٰ بعض ردود الفعل النووية لإنشاء العناصر المطلوبة، كبداية! الآن، فكر في التقلب الذي قد نحتاج إليه لكون كامل صالح للعيش ينشأ بشكل تلقائي من بحر الفوتونات الميتة والمادة في عالم متقادم. إن فرص تكوين شيء صغير تلقائيًا، مثل إبريق الشاي، أكبر بكثير من فرصة تكوين جزء كبير من الكون القابل للعيش بشكل تلقائي.

لذلك، فإن أكوان بولتزمان المتعددة تعتمد علىٰ تقلبات نادرة للغاية لتوفير الظروف من أجل الحياة، ومن المرجح أن تظهر الأكوان الصغيرة أكثر من الأكوان الكبيرة. مرجح بشكل ساحق. فإذا كان يتعين علىٰ الحياة أن تنتظر سكيليون سنة للحصول علىٰ مكعب سنة ضوئية من الظروف الخاصة التي تحتاجها، فمن غير المرجح أن يكون مكعب السنة الضوئية المجاور لكوننا قد اختارت كذلك تلك اللحظة لإنتاج تذبذب ذا إنتروبيا منخفضة تسمح بالحياة. لذا، أنت تحصل علىٰ ما تحتاجه وشبه مؤكد بدون زيادة.

كما أشار آرثر إدينغتون **Arthur Eddington** في ثلاثينيات القرن العشرين، أنه من غير المرجح للغاية في أكوان بولتزمان المتعددة أن نرىٰ كونا مثل كوننا، يراعي الإنتروبيا المنخفضة بقدر ما تستطيع العين والتلسكوب رؤيته. ولا تفسر فكرة بولتزمان لماذا كوننا وتقلبنا، يبدو كبيرًا للغاية.

لذلك، تفشل نظرية الكون المتعدد هذه بشكل مذهل. إذا كان عالمنا مثل ذلك الذي اقترحه بولتزمان، كونه مجرد تقلب كبير في كون أكبر ميت، فسنتوقع أن نلاحظ أنفسنا مكدسين في جزيرة صغيرة ذات انتروبيا منخفضة وسط بحر من التوازن الحراري.

لوك: هذا تنبؤ مباشر فاشل. تضع النظريات العلمية رهاناتها علىٰ نتائج الملاحظات، وتتم مكافأتها أو معاقبتها وفقًا لذلك. المراهنة علىٰ كل شيء فائز أفضل من مجموعة من الرهانات المحوطة، وهذا بدوره أفضل من الذهاب للرهان الخاسر. تضع نظرية بولتزمان رهاناتها في سوق «حجم الكون». بعد أن وضعت كل أموالها تقريبًا «صغيرة بقدر ما هو ضروري من أجل الحياة»، وتفلس

عندما «أكبر بكثير مما هو ضروري من أجل الحياة» تعبر خط النهاية في المقام الأول. هذا مثال رائع لكيفية اختبار نظريات الأكوان المتعددة - وفشلها!

إذا، أين أدمغة بولتزمان تلك؟

جيريانت: كما رأينا، علىٰ الرغم من أن تقلبات الإنتروبيا المنخفضة نادرة للغاية، إلا أنها علىٰ الأرجح تنتج إبريقًا من الشاي أكثر من كون يسمح بوجود حياة. وبالمثل، فمرجح بشكل كبير أن يُنتج التقلب دماغًا مكتمل التكوين، مكتملًا بذكريات جسم وحياة لم تحدث أبدًا، أكثر من كونه يتقلب إلىٰ كون ضخم حاملا بالحياة.

أدمغة بولتزمان هذه مدركة للذات، مع بعض الذين يفكرون في النظريات الكونية والانتروبيا، وبعض الذين يقضون لحظاتهم الواعية القليلة مع أغنية تايلور سويفت Taylor Swift العالقة في رؤوسهم. في المستقبل الطويل المظلم الفارغ للأكوان المتوسعة، فإن أدمغة بولتزمان تفوق عددًا كبيرًا من صور الحياة المختلفة التي كانت موجودة عندما كان الكون في منتصف العمر ومليءً بالنجوم والكواكب.

في الحقيقة، أنا في خطر باستنتاج أنني لست سوىٰ دماغ بولتزمان جالسًا في كون ميت منذ وقت طويل، وتشكلت مع كل ذكريات نشأتي في ويلز Wales عندما كانت الموسيقىٰ جيدة بالفعل، مع والدي والأشقاء والزوجة والأطفال، وبوضوح بشأن النسبية العامة والكهرومغناطيسية، ولكن البلبلة بشأن القروض العقارية والضرائب، وبالتفكير اللحظي بأنني جالس هنا أتحدث إليك. ولكن يمكن أن يكون كل ذلك مجرد وهم في تقلب عشوائي سوف يذوب مرة أخرىٰ في الأصل!

لوك: حسنًا، لكن بالتأكيد لا يعتقد أي شخص عاقل أنه حقا دماغ بولتزمان؟

جيرانت: بالتأكيد، ولكن كيف تعرف؟ كيف لك أن تعرف؟ لا يمكنك الخروج خارج نفسك وإلقاء نظرة حولك. هذا ما يسميه الفلاسفة تجربة التفكير

«عقل في وعاء» 'brain in a vat'[(١)]: كيف أعرف أنني لست في المصفوفة؟ في النهاية، يبدو أن إيماننا بعالم خارجي هو افتراض عقلاني، ولكن ليس بشكل كبير. بالطبع، لكل دماغ بولتزمان جيد التأسيس مع ذكرياتك، سيكون هناك العديد من الأشخاص الذين تم تشكيلهم بشكل سيء، مع مجموعة من الأفكار والذكريات العشوائية. يبدو أن هذا يجعل وجود دماغ يتخيل كونًا مثل هذا، منظمًا ومتناسقًا للغاية، بعيد الاحتمال للغاية. ومع ذلك، بالنظر إلىٰ الأبدية المقبلة، فينبغي أن ينشأ دماغك عند مرحلة ما.

لوك: يبدو أن هناك مشكلتين هنا نجازف بتناولهما معا.

جرينت: ابدأ. المشكلة الأولىٰ

لوك: سأسميها مشكلة بولتسمان الذاتية. لنفترض أن هذه الحقيقة هي كيف أدرك ذلك: أنا إنسان علىٰ الأرض، يتشكل من خلال التطور البيولوجي، أعيش في عالم كبير ينتج عن الإنتروبيا يبلغ عمره حوالي ١٣.٨ مليار سنة. فهذا هو أنا؛ ذاتي الحقيقية.

الآن، اترك الكون لتقلباته لبعض الوقت. أخيرا، سيتشكل دماغ -بولتزمان- في مكان ما في الفضاء ويؤمن بنفس الأشياء التي أؤمن بها عن نفسي. وسيكون له ذكريات وتجارب «حسية» مماثلة لتلك التي اكتسبتها، معتقدا أنه يعيش علىٰ الأرض، ونشأ في ماكفيل Macksville، وكل ذلك. هذا هو بولتزمان الخاص بي. ورغم كونه سيستغرق وقتًا طويلًا للغاية، إلا أنه في نهاية المطاف سيكون هناك العديد من بولتزمان الخاصة بي. إن الدماغ الوحيد الذي يعتقد بشكل صحيح أنه ذاتي الحقيقية هو الذي فاق بقية الأدمغة ذكاء والتي تعتقد زورا أنها تمثل حقيقتي.

الآن يأتي السؤال المحرج. أي واحد أنا؟ بالنظر إلىٰ أن لديهم جميعًا تجارب متطابقة، ينبغي أن أستنتج بشكل متساوي تقريبا أن أكون أحد تلك

---

(١) [هو سيناريو يستخدمه العلماء خلال مجموعة متنوعة من تجارب التفكير بهدف استخلاص سمات معينة من المفاهيم الإنسانية للمعرفة والواقع والعقل والوعي إلخ. المترجم]

الأدمغة. فإذا كان هناك تريليونات من أدمغة بولتزمان الذاتية، فإن احتمال أن أكون أنا هو الذات الحقيقية هو أقل من واحد في تريليون.

المشكلة في هذا السيناريو هي أنه يبتر الفرع الذي يبنىٰ عليه. تذكر المنطق: فإذا فهمتُ تطور الكون والانتروبيا وكل ذلك، فأنا علىٰ الأرجح دماغ بولتزمان. ولكن إذا كنت دماغ بولتزمان، فإن تجاربي ليست من عالم حقيقي. إنها مجرد نزوة لمحمومة تقلبات سريعة. لذا، فأنا لا أفهم تطور الكون والانتروبيا وكل ذلك - وأنا لم أقم بأي علم علىٰ الإطلاق! إن الحجة تبطل نفسها. مسألة بولتزمان الخاص بي مقلقة، لكنها لا تثبت الكثير.

جيراينت: غرابة بولتزمان. والمسألة الثانية

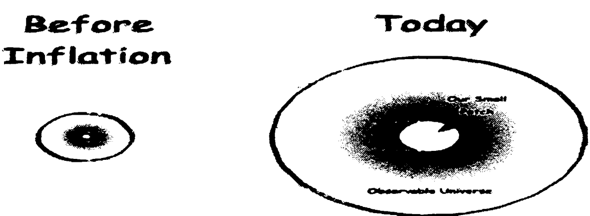
لوك: سأدعوها مسألة مراقب بولتزمان، وهذه يمكن أن تكون خادعة حقا. كل هذا الكلام الذي يدور حول بولتزمان في الدماغ قد يبدو وكأنه رحلة سخيفة من الخيال. لماذا يضيع هؤلاء الفيزيائيون المعتوهون وقتهم في هذه الخيالات؟ هذا معنىٰ أن تفقد بوصلتك. المكان الأكثر إثارة للقلق الذي تظهره أدمغة بولتزمان يكمن في نظرياتنا.

فإذا كنت تعتقد أنك تعرف كيف يعمل الكون، فلن تتمكن من اختيار الأجزاء اللطيفة من فكرتك. عليك أن تأخذ نظريتك علىٰ محمل الجد، وتسعىٰ بنشاط لجميع عواقبها. وإذا كان أيا منها يبدو سخيفا، إذا فربما لديك مشكلة -في نظريتك-.

اكتشف علماء الكونيات أدمغة بولتزمان الكامنة في النظريات التي اعتقدنا أنها كانت غير دقيقة تماما، مثل التضخم. في الواقع، قد يتم العثور عليها في المستقبل المتوقع لهذا الكون - لا يتطلب وجود أكوان متعددة. المشكلة ليست أننا قد نكون أدمغة بولتزمان. المشكلة هي أننا لسنا كذلك.

الاختبار النهائي للنظرية العلمية هو في التنبؤ بالملاحظات. أي ملاحظة يمكن أن تختبر نظرية، حتىٰ شيء دنيوي مثل «لست دماغًا معزولًا محاطًا بالتوازن الحراري». لذلك، إذا أخذنا أكوان بولتزمان علىٰ محمل الجد، واستنبطنا

توقعاتها بدقة، فإننا نتوقع بشكل كبير أن نلاحظ أننا أدمغة معزولة محاطة بالتوازن الحراري. فيلتقي التنبؤ بالملاحظة وتلقىٰ النظرية في سلة المهملات.



شكل ٤٩: بقعتنا المحلية الصغيرة من الفضاء -لنقل، النظام الشمسي- وكوننا الكبير القابل للرصد، قبل التضخم (يسار) واليوم (يمين).

مسألة ملاحظ بولتزمان هي: أننا لسنا أدمغة بولتزمان. فإذا كانت نظريتك تتوقع أن الغالبية العظمىٰ من المراقبين هم أدمغة بولتزمان، فستكون في ورطة كبيرة. إذا، فهل أكوانك المتعددة التضخمية منتشرة؟

جيراينت: ربما. لقد حاجج روجر بنروز Roger Penrose من جامعة أكسفورد علىٰ أن الأكوان التضخمية الحديثة تعاني من نفس مصير أكوان بولتزمان المتعددة. ستبدو الحجة مألوفة. فمنطقة الكون التي يمكننا رؤيتها -الكون المرصود- هي في حالة منخفضة من الانتروبيا. ورغم كونها أنيقة للغاية، إلا أننا لسنا بحاجة إلىٰ كل هذا النظام؛ فرُقعة أصغر بكثير، بحد أقصىٰ نسبة صغيرة من المجمل، ستكون كافية للحياة علىٰ الأرض. انظر المخطط (الشكل ٤٩).

يمكنك الآن الرجوع إلىٰ الساعة الكونية، وراقب عن كثب كوننا المرصود الضخم والبقعة الأصغر التي تمدنا بأسباب الحياة. يمكننا تتبع تلك البقعتين مرة أخرىٰ قبل التضخم، عندما كانت كلتا المنطقتين صغيرتين للغاية في انتظار التوسع.

واعتبر الدائرة البيضاء الصغيرة علىٰ اليسار: ونطلق عليها بيضتنا الكونية. في الداخل، الظروف مناسبة تمامًا لبدء التضخم واستمراره وإنهائه، مما ينتج عنه بقعتنا الصغيرة علىٰ اليمين. فالبيضة في حالة عالية من النظام والانتروبيا

المنخفضة. إننا نعلم هذا لأنه يتطور إلىٰ جوارنا المتجانس، والذي يعد من منظور الجاذبية حالة مهيئة.

ونظرًا لأن كوننا المرصود في حالة منخفضة من الانتروبيا، فيجب أن تكون المنطقة المحيطة ببيضتنا الكونية مناسبة تمامًا للتضخم. إلا أن الحياة ليست في حاجة إليه، فلماذا يوجد إذا؟ إن هذه الظروف المناسبة من أجل التضخم نادرة للغاية، مما يعني أن الأكوان الكبيرة المرصودة مثل عالمنا نادرة جدًا في الأكوان المتعددة التضخمية.

كم هو نادر؟ يعطي بنروز Penrose حسابًا تقريبيًا: لكل مراقب يراقب كونًا متجانسا ومنظمًا يمكن ملاحظته بحجم كوننا، فهناك ١٠ إلىٰ قوة ١٠ ١٢٣ ممن يلاحظون كونًا متجانسا ومنظمًا أصغر بعشر مرات فقط. هذا عدد كبير جدًا حتىٰ لمجرد ادعاء بإمكانية استيعابه. ١٠ ١٢٣ هي أكبر من عدد الجسيمات في الكون المرصود بتريليونات تريليونات تريليونات المرات، وهذا مجرد عدد الأرقام في إحصاء بنروز Penrose.

فإذا كانت حجة بينروز صحيحة، فعندئذ -كما كان الحال من قبل- سيكون معظم المراقبين في الأكوان التضخمية أدمغة بولتزمان، وهي جزر صغيرة من النظام في بحر من الفوضىٰ. وهكذا تبدو النظرية متجهة إلىٰ سلة المهملات.

لوك: أليس المغزىٰ من التضخم أنه يصنع أكوانا كبيرة ومتجانسة؟ أين هذا الطاعون من الأكوان الصغيرة وقاطنيها من الأدمغة؟

جيراينت: فكر في ما يحتاجه التضخم. ٨[١] نحن بحاجة إلىٰ مضاعفة حجم الفضاء ٨٠ مرة علىٰ الأقل للحصول علىٰ كون كبير ومسطح ومتجانس مثل كوننا. يحتاج التضخم أيضًا إلىٰ قدر معين من السلاسة لمجرد أن يبدأ أصلا تشير حجة بنروز إلىٰ أن معظم مناطق الكون التي تتضخم لن تبدأ بسلاسة كافية

---

(١) نقطة C في قائمة «ماذا يحتاج التضخم» من الفصل ٥.

ولن يزيد حجمها بما يكفي لتصبح كبيرة وسلسة مثل منطقتنا. ٩[١]

لوك: سيد فيزيائي، إحدىٰ نظرياتك الثمينة أنتجت احتمالا ضعيفا بشكل غير معقول لشيء نعرفه صحيح.

ماذا تفعل الأن؟ تتخلي عن كل هذا «العلم»؟ أم تتراجع بخزي؟

جيراينت: سخرية ملحوظة، كذلك نرىٰ كلا من غير الفيزيائيين يتفاعلون مع النظريات العلمية. فبدلًا من أن نستنتج أن إحدىٰ أفكارنا خاطئة -شهيق!- يبدو أن هذا يُظهر أن الفيزياء الحديثة مهزلة. كما لو أننا لم نرتكب من قبل خطأ قط.

ما يفعله الفيزيائي بعد ذلك هو العودة للاستنتاج السخيف وتحديد الافتراضات الأساسية. في حجة بينروز، فهي تتراوح بين الفيزياء التي تم اختبارها بشكل جيد مروار بالاستقراء المعقول إلىٰ التخمين. وباستبدال أي من هذه، من شأنه أن يتجنب «واحد من كل ١٠ قوة ١٠ قوة ١٢٣» احتمال؟

فيرىٰ Penrose، علىٰ سبيل المثال، الحاجة إلىٰ مبادئ تحكم الشروط الأولية. وهو يجادل بشيء يسمىٰ «فرضية ويل» 'Weyl Hypothesis'، مما يعني أن بداية الكون عادة ما تكون متناسقة ومنظمة.

فالأمر الشائك إذن هو الجاذبية الكمومية. ليس لدينا نظرية يمكن أن تصف مراحل الكون الأولىٰ. وخاصة، ما -إذا شيء ما- أتىٰ قبل التضخم؟ وهل توجد أصغر بقعة ممكنة من الفضاء؟ وماذا ستخبرنا الجاذبية الكمومية عن إنتروبيا الكون المتوسع؟ هذه أسئلة صعبة.

---

(١) فيزيائيون آخرون لديهم حجج متقدمة مماثلة لحجة ينروز (٢٠٠٤)، أي أن التضخم نفسه يتطلب شروطًا أولية خاصة لإنتاج كون ضخم، بل حتىٰ لمجرد أن حدوثه. هذه نقطة تقنية، لذلك سنقوم بتضمين بعض المراجع لأولئك الذين يرغبون في قراءة المزيد. وبالنسبة للمستوىٰ الشعبوىٰ، انظر Carroll (2006 and 2010).
لمزيد من التفاصيل التقنية، انظر Page (1983), Hollands and Wald (2002), Albrecht and Sorbo (2004), Carroll and Tam (2010), and Carroll (2014). وللاطلاع علىٰ وجهة نظر معارضة، انظر
Carroll (2014). For an opposing view, see Kofman, Linde and Mukhanov (2002).

لوك: حسنا. سأحاول التلخيص، وسنرىٰ ما إذا كان بإمكاننا التوصل إلىٰ أي استنتاجات. يمكننا أن نرىٰ كيف يُفترض من نظرية الكون المتعدد أن تفسر الضبط الدقيق - اصنع الكثير من الأكوان المختلفة، ومن ثم ستظهر الحياة فقط في المضبوط منها بدقة.

بشكل مشجع، لدينا بالفعل بعض الأجزاء الضرورية. فلدينا نظريات الفيزياء والكونيات التي تبدو، رغم عدم اقتراحها لهذا السبب، قادرة علىٰ صنع أكوان متعددة. وتعزز نظرية الأوتار «ثوابت» الطبيعة إلىٰ ديناميكية وقابلية الأشياء للتغيير مثل الحقول. ويمكن للتضخم الكوني إنشاء مجالات كونية تدرك الاحتمالات المختلفة لنظرية الأوتار.

إضافة أخرىٰ هي أنه رغم رفعها من الخيال العلمي، فإن الأكوان المتعددة تواجه في الواقع اختبارات خطيرة كنظرية علمية. الأهم من ذلك، أنها يمكن أن تصنع تنبؤات. ومن حيث المبدأ، يجب أن نكون قادرين علىٰ الجلوس مع نظرية الأكوان المتعددة واستخلاص ما نتوقع أن نلاحظه. نظرية الأكوان المتعددة الجيدة ستتنبأ بشيء لا تستطيع أفضل نظرياتنا الحالية فعله - وهو قيم الثوابت. وابتداء من تنبؤ واينبرغ للثابت الكوني، فقد حقق هذا النهج بعض النجاح.

ولا غرابة، فنظرية الكون المتعدد يمكن أن تتعرض للنقد. ولا يمكن اكتشاف ذلك مباشرة. فإذا كان الكون المتعدد موجودًا، فلن نحصل أبدًا علىٰ معلومات من الأكوان الأخرىٰ. فقد يختفون جميعًا غدًا ولا يمكن لنا أبدًا أن نعرف. وهذا فرق مهم بين الأكوان المتعددة والأنواع الأخرىٰ من الكيانات غير المرصودة في الفيزياء. فلو اختفت كل الكواركات من الكون، فسنعلم ذلك. حسنا، ربما لا إذ سنختفي معهم. فهذا ليس دليلا علىٰ قطع العلاقة، حتىٰ ولو كان بشكل غير مباشر - لكنه سبب للبدء بالحذر.

أيضا، فالأجزاء المستعارة من الفيزياء الحديثة ليست آمنة بصفة خاصة. ففي حين أن التضخم حقق تنبؤات ناجحة، إلا أن آليته غير معروفة. وبغض النظر عن جاذبيته الرياضية، فلا يوجد أي دليل تجريبي علىٰ نظرية الأوتار بل وأقل من

ذلك بالنسبة لمشهد نظرية الأوتار string theory landscape. فالنظرية صعبة للغاية لدرجة أن القليل من توقعاتها آمنة. علىٰ سبيل المثال، يقول توم بانكس Tom Banks من جامعة كاليفورنيا أن نظرية المشهد landscape يسودها نظريات مختلفة، مما يزيد من تعقيد مزيج الأكوان المحتملة. وبالطريقة نفسها، ضمن نظرية الجاذبية التي وضعها نيوتن، لا يمكن لإعادة ترتيب الكتل تغيير شدة الجاذبية ذاتها (G)، ولا يمكن لأي عملية فيزيائية -بما في ذلك التضخم الكوني- أن تعي الاحتمالات المختلفة في مشهد نظرية الأوتار. فسواء كان بانكس محق أو لا، فهذا يدل علىٰ أن الخلافات بين الخبراء عميقة.

ويوجد الكثير من النظريات التي لم نناقشها. فهناك نظريات أخرىٰ عن الجاذبية الكمومية، مثل الجاذبية الكمومية الحلقية loop quantum gravity، وحتىٰ التضخم له منافسون، مثل «علم الكونيات في سلسلة روبرت براندنبرغر». قد يبدو أن الفيزيائيين لديهم نظرية في كل جيب. علىٰ العكس من ذلك، فإن انطباعي هو أن نظرياتنا ليست سوىٰ بعض الحصىٰ علىٰ شاطئ محيط من المعرفة. بالكاد بدأنا نستكشف.

علىٰ الرغم من أوجه عدم اليقين هذه، فإن مشكلة مراقب بولتزمان جسيمة. فالكون المتعدد لديه حبل مشدود ليمشي عليه. عدد قليل جدًا من الأكوان المتنوعة، وستفشل علىٰ الأرجح في تكوين كون واحد يسمح بالحياة أصلا.

من جهة أخرىٰ، فالكثير من الأكوان غير المضبوطة بدقة يمكن تؤدي إلىٰ كون مليء بأدمغة بولتزمان. حتىٰ لو كانت أكوانك المتعددة جميعها لا تضمن إلا وجود أكوان ضخمة، ذات درجة عالية من النظام، تتكون فيها النجوم والكواكب وتسمح بالحياة البيولوجية، فإن معظم الراصدين لن يروها.

جيريانت: إن الطريقة الإيجابية لعرض هذه المشاكل هي القول بأنها ستساعدنا علىٰ اكتشاف الأكوان المتعددة الحقيقية. وأنها تساعدنا في العثور علىٰ الماس الخام.

لوك: صحيح، ولكن علىٰ صعيد آخر، فإذا سقطت نظريات متعددة الأكوان علىٰ قارعة الطريق، فإن القضية برمتها تبدو مشبوهة. وسنحتاج إلىٰ نحنحة -إحم- ضبط دقيق للأكوان المتعددة.

جيريانت: حسنًا، مؤكد يوجد مزيد من العلم للقيام به، ومزيد من المعادلات لحلها، ومزيد من المعادلات لاكتشافها، ومزيد في الكون لاستكشافه، ومزيد من التجارب لإجراءها وتحليلها.

لقد قطعنا شوطا طويلا إن العملية التي تقود التضخم وتنتج الأكوان المتعددة لا تهتم بذلك في الواقع، ففي واحد من الأكوان التي أنتجتها علىٰ الأقل، كانت الظروف مناسبة لتكوين النجوم، ونمو الكواكب الصخرية، وأحفاد القردة في شرق إفريقيا الذين يمكنهم التفكير في وجودهم. لكن حقيقة أن شمبانزيات أمريكا عديمة الشعر تقوم بذلك هي قيد مفروض علىٰ الآلية، وهي آلية بدأنا في خرقها توا. سيستغرق الأمر الكثير من العمل، مما سيولد الكثير الانتروبيا خلال عمليات التفكير لعلماء الكونيات وعلماء فيزياء الكم لحل هذا. فنحن بالكاد بدأنا!

لوك: من جهة أخرىٰ، فلنحاول العودة إلىٰ بداية الكون. نحن نصل إلىٰ قوانين الطبيعة النهائية. لقد طرحنا العديد من أسئلة «لماذا؟» أكثر من طفل في الرابعة من عمره في حديقة الحيوان. ربما نلمح حدود ما يمكن أن يفسره العلم. هناك إجابة أخرىٰ أقدم.

جيراينت: أنا أعلم إلىٰ أين يتجه هذا!

الكلمة جي G!

لوك: ببساطة، يحتوي الكون علىٰ الحياة لأنه صنع بتلك الطريقة.

جيراينت: أعتقد أنني سمعت هذا من قبل. أنت تعني ب «صنع» أي مصممة ومشيد حرفيا؟

لوك: نعم، صمم وشُيّد. ولطالما كان الناس يتأملون في السبب الذي يجعل العالم علىٰ ما هو عليه، فقد بدا واضحًا للكثيرين أن أجزائه المختلفة تم

تجميعها معا بطريقة هادفة. معًا، تحقق قطع الكون شيئًا: الشمس تعطي الحياة، والأرض تعطي العناصر الغذائية، والسحب تمنح المياه، وتحول النباتات كل ذلك إلىٰ طعام وأكسجين للحيوانات كي تنمو وكي يولد البشر وينموا ويتعلموا ويحبوا وويعملوا. يبدو أن النظام برمته مدروس جيدًا، مما يشير إلىٰ أن شخصًا ما خطط له وأنشأه.

جيراينت: ومع ذلك، فقد استُعيض بالعلم لكثير من هذه التفسيرات. ولم نعد نؤمن بآلهة الرعد- أو علىٰ الأقل فإن قوانين الكهرومغناطيسية والخصائص الطبيعية للسحب قد ألغت وظيفتهم[1] فنحن نعرف ما هي القوىٰ النجمية، وقد شرحنا الأساس الكيميائي لعملية التمثيل الضوئي، ونعرف العمليات الكيميائية الحيوية التي تكمن وراء الحياة. فما الذي يتبقىٰ للإله أو الآلهة، لتفعله؟

لوك: هذا بالتحديد هو السبب في لماذا قد حفّز الضبط الدقيق علىٰ تجدد الاهتمام بهذه الحجة. فالعلم يمتلك تفسيرات هرمية -تسلسلية-. ونحن نفسر الظواهر التي نلاحظها من حيث القوانين المتنوعة، بل ونوضح القوانين من حيث القوانين الأساسية بشكل أكثر، كمثل عندما نقول أن القوانين الكيميائية تنبع من قوانين الميكانيكا الكمومية التي تحكم الإلكترونات التي تدور حول نوىٰ الذرات.

لذلك، فإن قلتُ، «تبدو الحياة مُجمعة -مُعدة- جيدا إلىٰ حد ما»، وأجبتني، «تعتمد الحياة علىٰ الكيمياء»، فإن السؤال التالي لطرحه هو: «هل

---

(١) -وهذا وللأسف من أكثر الاعتراضات حول العلم والدين رغم تهافته وانعدامه للمنطق الصحيح والعقل السليم، فمعرفة السبب لا تعني بالضرورة غياب المسبب ومعرفتك بكيفية عمل الأشياء وقوانينها لا يغنيك عمن قننها وأبدعها بل هي في ذاتها دليل علىٰ وجوده واتصافه بالحكمة والقدرة والقوة، فكلما زاد تعقيد الألة ودقة تصميمها واتباعها لقوانين معينة دل ذلك علىٰ وجود المهندس وبراعته، فكونك قرأت دليل تصميم الجهاز -الألة- وكيفية عملها والقوانين التي تتبعها لا يعني أن المهندس غير موجود! كما أن تعدد المهندسين الفاشلين لا يعني وجود مهندس بارع، ولله المثل الأعلىٰ سبحانه وبحمد، فقوانين الكون ودقتها دليل وجوده وحكمته وتعدد الآلهة الباطلة التي لا تسمن ولا تغني من جوع لا يعني غياب الإله الحق الذي أبدع كل هذا -بل إن السبب المادي الفيزيائي لا يُغني بالضرورة عن سبب غيبي غير محسوس- -المترجم-.

الكيمياء معدة جيدًا؟» يجب أن نتعمق في القوانين العلمية لكوننا. ويوحي الضبط الدقيق أنه في أعمق مستوىٰ وصلت إليه الفيزياء، فإن الكون مُعدّ بشكل جيد. والغالبية العظمىٰ لثوابت وقوانين أخرىٰ[1] لا تسمح بأي شيء يشبه الحياة.

جيريانت: لقد ناقشنا للتو ما إذا كانت نظريات الأكوان المتعددة جزءًا من العلم. واتفقنا علىٰ أنها يمكن أن تكون: في حين أن استحالة رصد حقيقي لكون آخر هو سبب للحذر، ويمكن تقديم دليل تجريبي لصالح أو ضد نظرية معينة للأكوان المتعددة.

ورغم ذلك، فإذا لم يندرج هذا الشيء أو ذلك تحت مظلمة العلم الطبيعي التجريبي، فهو إله وآلهة. وكبداية، عن أي من الآلهة والإلهات العديدة التي يحترمها مختلف -شتىٰ- الناس في جميع أنحاء العالم نتحدث؟

لوك: الحجة من التصميم، أو الغائية، هي جزء من التقاليد الفلسفية الغربية[2]، وهي واحدة من مجموعة من الحجج عن وجود الله.[3] وبخاصة، إن كانت هذه الحجج ناجحة أم لا، فإنها تقدم نظرة قيمة لا تقدر بثمن حول ما يفترض أن تتعلق بشأنه فكرة الإله.

ولعل أشهر مجموعة من الحجج هي «الطرق الخمس» 'Five Ways' للقديس توما الإلكويني St Thomas، فيلسوف ولاهوتي في القرن الثالث عشر. ولتوضيح أهميته، ففي القرن السادس عشر، عندما اجتمعت الكنيسة الكاثوليكية الرومانية في مجلس ترينت Trent التاريخي، تم الإشادة بثلاثة كتب عند المذبح: الكتاب المقدس، ومراسيم الباباوات، وكتاب الجمع اللاهوتي للإكويني Aquinas's Summa Theologica. وهو كتاب مدرسي، مخصص للطلاب بعد خبرة

(١) -يعني مختلفة عن ثوابت وقوانين كوننا -المترجم- -

(٢) يُعد أول من أصاغ تلك الحجة وقدمها هم علماء المسلمين انظر كتاب وليام كريج «الحجة الكونية الـكـلامـيـة :Craig. W.L.(1979). The Kalam Cosmological Argument (1st ed.). London Macmillan Press (المترجم)

(٣) يناقش كتاب ناثان الممتع ('God in Proof' (2013)) تاريخ تلك الحجج.

عامين لفلسفة أرسطو. وقبل شروعه في ثلاثة آلاف ونصف صفحة عن صفات الله، والخلق، والإنسان، الإرادة، والكنيسة، والأخلاق، والقانون، وأكثر، يقضي الإكويني نحو صفحة كملخص خمس حجج لوجود الله عرضت بإسهاب في كتبه السابقة.

والحجة الغائية teleological هي المسلك الخامس الذي سلكه توما الأكويني. وقبل أن يبلغه، قدم ثلاث نسخ لما يُعرَف بالحجة الكوزمولوجية cosmological علىٰ وجود الله. ولكي نفهم هذه الذات الإلهية؛ سنبدأ بتلك الحجة[١]

جيراينت: هل قلت كوزمولوجي؟ هل ثمة ارتباط بالكومولوجيا التي نعهدها؟

لوك: نعم، حيث تشير الكلمة اليونانية (cosmos) إلىٰ العالم بأسره. حيث تنطلق الحجة الكوزمولوجية من منطلق أن الكون بحاجة إلىٰ تفسير خارج عنه وفائق له، وأن الأشياء التي نألفها تشير إلىٰ شيء آخر مختلف[٢] فهي محاولة لوضع حد لتساؤلات الأطفال عن العلة.

وقد حاول الفلاسفة التعرف علىٰ ما إذا كان الكون بحاجة إلىٰ هذا التفسير الخارجي. فبالنسبة لأفلاطون وأرسطو، تشير الحركة (التي تعني أي نوع من

---

(١) لمحبي الاطِّلاع، يُعرف المسلك الرابع لتوما، بحجة مراتب الكمال. وهي أكثر الحجج الخمسة احتمالا لأن يلتبس فهمها علىٰ القارئ الذي -علىٰ الأرجح- لم يدرس فلسفة أرسطو، وتشبع بنظرة نحو العالم (ومصطلحات) مختلفة تماما، والتي انتشرت في القرن الحادي والعشرين. ولذا يمكن للقارئ الذي له عناية بذلك أن يطلع علىٰ كورس مختصر من خلال (Feser (2009)) وكذلك يمكنه الاطلاع علىٰ نسخة حديثة من الحجة من خلال (Ward (2009)). وإذا أردت قراءة ما كتبه توما الأكويني، فإن كتاب (A Summa of the Summa (1990)) لبيتر كريفت يستخلص ويشرح بعض الجزئيات المهمة.

(٢) إن قول أي شيء عن الإله قد يحمل أحدهم علىٰ أن يقول: «ليس هذا ما أعنيه». فعلىٰ سبيل المثال، سيعترض الأكويني علىٰ الحديث عن الإله علىٰ أنه شيء، أو أنه حتىٰ كائن أصلا. فليس الوجود شيء يمتلكه الإله، وإنما هو جزء من ماهيته؛ «فالإله هو أصل الوجود». اعذرني علىٰ قلة خبرتي، سأحاول أن أقول شيئًا ما قد يتفق معه أحدهم.

أنواع التغير) إلىٰ محرك غير متحرك. وبالنسبة لبعض الفلاسفة العرب، يوحي حدوث الكون بأن له مُحدِثا خارجيا. وفي المسلك الثاني لتوما، كان هذا التفسير عبارة عن القوة السببية؛ حيث توجد سلسلة العلل والمعلولات التي ليس أيٌّ منها سبب وجود نفسه. وفي المسلك الثالث لتوما، هذا التفسير هو الإمكان، فقد كان من الممكن اختلاف الكون عما هو عليه، ولذا فهو ليس بوسعه تفسير سبب وجوده علىٰ هذه الحال دون غيرها. وبالنسبة للفيلسوف الألماني جوتفريد لايبنيز Gottfried Leibniz، فإن هذا التفسير عبارة عن الوجود، فلا بد من وجود علة كافية لتفسير وجود أي شيء أصلا. وكما ترىٰ، فإن الحجة الكوزمولوجية، هي في الواقع عبارة عن عائلة من الحجج.

جيراينت: حسنا، ليس هذا هو عين الكوزمولوجيا التي أعهدها، ولكن أكمل.

لوك: لنبدأ بإجراء قياس. إذا رفعت الأشياء التي حولك وأسقطتها؛ ستسقط علىٰ الأرض. (وإذا كان لديك بالون هيليوم، اتركه في فراغ.) ومع ذلك، فإن معظم الأشياء التي حولك ليست في حالة سقوط. فهل هذا بسبب الأرضية التي هي عليها، أما الأساسات، أم التربة أم الصخور؟ يبدو أن الأمر ليس كذلك؛ فإذا اقتلعتها ورفعتها، ستسقط أيضا. فإذا كان كل شيء عبارة عن جسم «ساقط»، فلماذا ليس كل شيء في حالة سقوط؟

ثمة ثلاثة خيارات:

(أ) أن القاذورات والصخور في امتداد إلىٰ الأسفل، وكل طبقة منها تدعم التي تليها نحو الأعلىٰ، ومدعومة من الطبقة التي دونها.

(ب) وجود داعم حقيقي غير منطقي، وهو طبقة سحرية عائمة. حيث توجد طبقة مادة بالأسفل، ورغم كونها من نفس المادة التي تسقط في العادة، إلا أنها لا تسقط. وذلك بلا سبب علىٰ الإطلاق. فالسؤال عن «السبب في عدم سقوط الطبقة السحرية» لا إجابة له.

(ج) وجود داعم ذاتي. حيث يوجد شيء ما بالأسفل يدعم نفسه بطريقة ما. وبهذا فإن السؤال عن «السبب في عدم سقوط هذه الطبقة» مجاب من حيث الجزء الداخلي، وكذلك باعتباره كله من حيث طبيعة الطبقة نفسها.

يبدو لي أن (أ) ليس تفسيرا أصلا؛ لأن جميع الطبقات يمكن أن تكون جميعها في حالة سقوط. ونحن لا نزال نجهل سبب عدم سقوط كل شيء. كما أن (ب) محبط، ويكاد لا يُعقل. فما أغرب أن تكون مادة الكون مرتبة ومعقولة جدا، ومجتمعة لإحداث -بينما هي مدعومة من الأسفل- وتحقيق عدم السقوط، لدرجة تجعلها غير قابلة للتفسير في أعمق مستوياتها! فيا لها من خيبة أمل!

في الواقع، إن (ج) إجابة صحيحة، وهي الأكثر إرضاء. فإن باطن الأرض مدعوم من قِبل الضغط، ويحوي مركز جاذبية الأرض. فهذا الشيء بمقدوره دعم نفسه في مقابل جاذبيته، وبمقدوره دعم الأشياء الأخرىٰ.

إليك الصياغة المنطقية للحجة. للوصول إلىٰ تفسير معقول للسبب في عدم سقوط جميع الأشياء التي يمكن سقوطها، علينا أن نفترض شيئا مختلفا، وهو داعم غير مدعوم أو ذاتي الدعم. فعلينا أن نتناول سلسلة الداعمين -فأنا مدعوم بكرسيي، الذي تدعمه أرضية الغرفة، التي تدعمها أساسات المنزل، التي تدعهما سطح الأرض، وهلم جرا- ونعثر علىٰ محطة مناسبة، وليست اعتباطية.

إذا أخذت تلك الحجة، وأبدلت عبارة «مدعوم» 'is supported' بعبارة «موجود» 'exists'، ستحصل علىٰ صياغة أولية للحجة الكوزمولوجية. وبالنسبة للأشياء التي كان من الممكن عدم وجودها (الممكنات)، فلكي يكون وجودها الواقعي منطقيا، لا بد وأن نفترض وجود نوع آخر من الأشياء، وهو محدِث غير محدَث، خالق غير مخلوق، واجب الوجود. فهذه محاولة لوضع حد للنهايات المهلهلة للتفسيرات. فنحن بحاجة للإله ليكون هو الكائن الواجب الوجود، الذي توجد علة وجوده في طبيعته الذاتية.

جيراينت: فلماذا لا يمكن للكون أن يكون هو هذا الكائن؟

لوك: سؤال جيد، ولكن قبل أن أجيب

من المؤكد أن أي اعتراض تقريبا قد يخطر ببالك علىٰ تلك الحجج قد أثير ونوقش عبر آلاف السنين. فعلىٰ مدار بضعة آلاف سنة، واجهت بعض أذكىٰ عقول العالم الغربي (وما وراءه) قضايا أثيرت حول الإله والوجود والسببية والزمن والعلة والمنطق والتفسير والإمكان والضرورة وغير ذلك. فقد كانت لهم الأسبقية بنحو ألفين وخمسمائة عام. وقد لا تتفق مع ما قالوه، ولكن عليك أن تتطلع عليه علىٰ الأقل. وما يخص اعتراضك علىٰ تلك الحجج هو التبحر[١]

ثمة مليون اعتراض واهن يمر مرور الكرام بالحجة الكوزمولوجية. الاعتراض التقليدي: إذا كان لكل شيء محدِث؛ فمن الذي أحدث الإله؟ أو بإيجاز: من خلق الإله؟ وهذا يشبه الاعتراض بقولهم: ما الذي يمسك بباطن الأرض؟ حيث إن المعترض لا يكشف عن مغالطة، وإنما يكشف عن قصور فهمه. فلتفسير «الأشياء التي لا تسقط رغم إمكانية سقوطها»، نحتاج إلىٰ شيء ذي نوع جديد لا يمكن أن يسقط. ولتفسير «الأشياء الموجودة واقعيا رغم إمكانية عدم وجودها»، نحتاج إلىٰ شيء ذي نوع جديد لا يمكن أن ينعدم. فالمغزىٰ من تلك الحجة هو نفي وجود سبب لكل شيء. والحجة تثير العديد من الألغاز، ولكن ليس من بينها هذا السؤال: «من خلق الإله؟»

جيراينت: ولكن لو كان جميع أولئك الفلاسفة القدماء مؤمنين بالإله، فما حجم التمحيص الذي تعرضت له تلك الحجج؟

لوك: في الواقع، لا بأس به. فالإيمان بالإله لا يقتضي الإيمان بأن كل حجة تثبت وجود الإله هي حجة محكمة. فلم يظن توما الأكويني أنك ستتمكن من إثبات بداية للكون. كما ارتاب العديد من الفلاسفة المسلمين والمسيحيين من أفكار أرسطو. وقد اعتقد بليز باسكال Blaise Pascal -عالم وفيلسوف من القرن

---

(١) إذا أردت بعض المساعدة في التبحر، فإن (Oppy (2009) and Sobel (2009)) عبارة عن أعمال نقدية مرموقة لتلك الحجج. وبالنسبة للدفاع عن تلك الحجج، انظر (Swinburne (2004)) و(The Blackwell Companion to Natural Theology) لكريك ومورلانك ٢٠٠٩.

العشرين- أن جميع البراهين قد فشلت ولذا لا بد وأن نراهن علىٰ ما إذا كان الإله موجودا.

وعلاوة علىٰ ذلك، فإن أشهر الأعمال النقدية للحجة الكوزمولوجية هي أعمال ديفيد هيوم David Hume وإمانويل كانت Immanuel Kant بالقرن الثامن عشر. فأعمالهم النقدية الأسطورية ترجع إلىٰ قرنين ماضيين، ولذا فقد قُتِلَت هذه الحجة تمحيصًا. وقد لا تُفلِح نسخ الحجة التي يُدافع عنها اليوم، ولكنها تسقط في يد طالب فلسفة في سنته الدراسية الأولىٰ.

وعلىٰ كل حال، أعود إلىٰ سؤالك: لم لا نفترض أن الكون نفسه -أو شيئا ما في الكون- هو المُحدِث غير المحدَث أو واجب الوجود؟ الرد الموجز: لا يبدو أن الكون الفيزيائي ينطبق عليه هذا الوصف. فما من شيء ضروري فيما يخص كيفيته، أو ماهيته، أو سلوكه. ولذا يحتاج العلم إلىٰ رصد؛ فليس بوسعنا اكتشاف الكون ونحن علىٰ أرائكنا. بل نحتاج إلىٰ أن نخرج وننظر.

جيراينت: ليس بمقدورنا سرد نقاش دام لعدة آلاف سنة هنا، لذا دعنا نستحضر سبب مرورنا بهذا المنعطف. ماذا تخبرنا هذه الحجة عن الماهية المفترضة لهذا الإله تحديدا؟

لوك: القضية الأساسية هي أن الإله واجب الوجود. إليك هذا المختصر المفيد:

إذا كان الإله موجودا، فلا يمكن أن يكون محدَثًا؛ أي لا يمكن أن يكون وجوده أمرًا عارضا وقع بالصدفة المحضة ولا يمكن أن يكون الإله ممكن العدم وفي النهاية، لا يمكن أن تكون إمكانية عدم وجود الإله صحيحة. فلا يمكن أن يكون وجوده أمرا ممكنا ببساطة، كما الحال في الأشياء الأخرىٰ مثل البشر. فمن المؤسف أن وجودنا غير مضمون. بيد أن الإله لا يمكن أن يكون كذلك. فالإله يُعتَقَد أنه ذاتي الوجود، فهو لديه علة الوجود في طبيعته الذاتية، ولذا لا يمكن أن يكون ممكنا وحسب. فلا بد وأن يكون وجود الإله ضروريا بمعنىٰ أو بآخر؛ لأن هذا يبدو جزءً من مفهوم الإله نفسه[1]

---

(1) White (1979).

فلوضع نهاية للتساؤلات التي من النوع «ولكن لماذا؟»، لن يكفي وجود كائن ممكن آخر. ولذا نبحث عن تفسير من نوع آخر. فنحن بحاجة إلىٰ كائن لا يفتقر إلىٰ علة وجوده أو سببه.

ويختلف الفلاسفة حول طبيعة الوجود الواجب التي يُفتَرَض أن تكون لدىٰ الإله. ويبدو أن الطبيعة الأقوىٰ -الضرورة المنطقية- لا تنطبق؛ لأنه لا يوجد تعارض منطقي تام في عبارة «الإله غير موجود». ويذهب بعض المؤمنين بالإله إلىٰ أن وجود الإله واجب فعليا وحسب؛ فلا يعتمد وجود الإله علىٰ أي كائن آخر، بينما يعتمد عليه وجود جميع الكائنات. وفيما بين القولين، يوجد قائلون بوجوب الوجود الميتافيزيقي؛ فما من عالم ممكن بغير وجود الإله، حتىٰ لو لم يكن انعدام الإله تناقض منطقي تام. فعلىٰ كل حال، ليس الإله مجرد سلعة أخرىٰ في سوق الواقع.

تذكر: نحن نحاول استيعاب مفهوم الإله. ولذا فإن طرح سؤال: «لماذا نفترض أن الإله واجب الوجود؟» هو بمثابة السؤال: «لماذا نفترض أن وحيد القرن لديه قرن واحد؟»؛ فكونه لديه قرن واحد عبارة عن جزء من مفهوم وحيد القرن. فالسؤال الذي ينبغي طرحه هو: هل يوجد شيء في الواقع يطابق مفهومنا؟ هل يوجد إله واجب الوجود؟

جيراينت: لماذا التركيز علىٰ هذه الصفة الإلهية تحديدا؟

لوك: لأنها توضح علاقة الإله بالكون وقوانين الطبيعة. فالإيمان بالإله -أي بوجود الإله- ليس مضمونه أن الكون نظام قائم بذاته يفسر ذاته ويدبر شؤونه وإنما توجد أيضا حورية سماوية سحرية تتجول بالجوار باحثة عن وظيفة تؤديها. فالكون بأسره معتمد علىٰ الإله في وجوده، ولذا فإن قوانين الطبيعة ببساطة هي الطريقة التي اختارها الإله بحرية لتدبير الكون. فهي ليست أسس ضرورية تفوق الإله، أو مستقلة عنه.

فعلاقة الإله بالكون تشبه نوعا ما علاقة المؤلف بكتابه. فنحن لن نعثر علىٰ جي كي رولينغ J. K. Rowling في هوجورتس Hogwarts، ولا شيكسبير في

فيرونا Verona الجميلة. ولا نستطيع إعفاء المؤلف من وظيفته من خلال اكتشاف شخصية جديدة، أو حل الحبكة الدرامية، أو العثور علىٰ الصفحة الأولىٰ من الكتاب والتي تكشف كيفية بداية القصة. فهو ليس إلهًا «حديثًا» منقحًا علىٰ عجالة، ويتراجع في مقابل العلم. فقد سبق الثورة العلمية ببضعة آلاف سنة، وكان في معظم تلك الفترة هو النظرة العالمية لصناع الثورة العلمية[١]

وعلاوة علىٰ ذلك، ففي مواجهة صمت العلم بالأساس فيما يتعلق بأسئلة مثل «لماذا يوجد أي شيء؟»، «لماذا يسير الكون وفقا للقوانين الرياضية؟»، «ما الذي يبث الروح في المعادلات ويجعل لهم كونا يصفونه؟»، كما سأل ستيفن هوكينج (١٩٨٨، ص١٧٤)، و«لماذا الكون كما هو وليس علىٰ خلاف ذلك؟»، فإن وجود رجل ذي لحية في السحب لن يفسر ذلك. ووجود سانتا كلوز Santa Claus لن يفسر ذلك. ووجود حوريات السماء لن يفسر ذلك. ووجود الوحش الاسباجيتي Flying Spaghetti لن يفسر ذلك. كما كانت العديد من آلهة اليونان القديمة في متناول أفلاطون وأرسطو، ومع ذلك فقد كانوا في حاجة إلىٰ شيء آخر، شيء لم يكن مجرد شيء آخر، أو حتىٰ مجرد إله آخر.

ها هي النقطة الحاسمة. إذا لم يكن ثمَّ إله، فليس هذا لأننا وجدنا بديلا له. وليس هذا بسبب أي اكتشاف توصل إليه العلم. بل سيكون هذا سببه أن الواقع لم يحتج إلىٰ هذا التفسير علىٰ كل الأحوال، ربما لأن هذا التفسير يبدو غير منطقي واقعيا.

جيراينت: لديِ الكثير من الأسئلة. فلنناقشها.

---

(١) لست مؤرِّخًا، ولذا اسمح لي أن أقتبس من كلام أحد المؤرخين. يقول مارجريت جي أوسلار (٢٠١٠): «إن مشروع دراسة العالم برمته كان متأصلا في إطار لاهوتي أبرز الخلق الإلهي والتصميم الإلهي والعناية الإلهية. فهذه الموضوعات سائدة في كتابات جل رموز الفلسفة الطبيعية بالقرن السابع عشر». وبالطبع علىٰ المرء ألا يفرط في الادعاء. فالعلم الحديث يدين بالكثير لجهود المفكرين العرب واليونان والرومان والبابليين وغيرهم، بالإضافة إلىٰ المصالح التجارية والمدنية والعسكرية في التكنولوجيا الحديثة.

بصراحة، إن فكرة «واجب الوجود» محيرة جدا. فأنا أعرف ماهية الحقيقة الضرورية، والتي هي من جنس ٢ + ٢= ٤، أو أن جميع العزاب غير متزوجين. ولكن أمعن النظر في تلك الأمثلة. من قال إن ٢ + ٢= ٤؟ إنها البدهيات الرياضية. ومن قال إن جميع العزاب غير متزوجين؟ هذا هو معنىٰ كلمة أعزب. فمن قال إن الإله موجود؟ إممممم أهو الإله؟ أم طبيعة الإله؟ أم تعريف الإله؟ أم الضرورة الميتافيزيقية، أيا ما تكن؟

لوك: هذا هو جنس الأسئلة التي ناقشها الفلاسفة واللاهوتيون علىٰ مدار آلاف السنين. حتىٰ إن المؤمنين لا يتفقون فيما بينهم.

فإن علة وجود واجب الوجود موجودة في طبيعته الذاتية. فهذه هي الطريقة التي يُفتَرَض أن يضع بها الإله حدا لأسئلة «لماذا يوجد كذا؟». ربما يسعنا التفكير فيه بهذه الطريقة. فمقولة «٢ + ٢ = ٤» و«اسمي لوك» كلاهما حقيقي، ولكن ثمة اختلاف في الطريقة التي يصدق بها كونهما حقيقيين. فالأولىٰ لا بد وأن تكون حقيقية، أما الثانية، فقد صادف أنها حقيقية. الأولىٰ حقيقية بصرف النظر عن أي شيء، أما الثانية فهي تابعة لاختيار والدي، والذي كان من الممكن اختلافه عما هو عليه. فالمنطق الشكلي هو توسع منطق «الحقيقة والخطأ» الأساسي ليشمل تلك الأنواع المختلفة من أنماط الحقيقة. فبأسلوب بسيط، «٢ + ٢= ٤» عبارة عن حقيقة ضرورية، أما «اسمي لوك» فهي عبارة هم حقيقة ممكنة.

فكما توجد أنماط مختلفة من الحقائق، قد توجد أنماط مختلفة من الوجود. فالإله لديه نمط وجود ضروري. وتمتاز هذه الفكرة بأنها تفسر سبب وجود أي شيء بالأساس، وسبب وجود أشياء ذات نمط وجود ممكن، أي أشياء مثلنا ومثل النبات والكون التي هي موجودة ولكنها غير واجبة الوجود[١]

(١) المنطق الشكلي تطور بشكل كبير خلال القرن الماضي. انظر الكتاب الذي سيصدر قريبا «موجودات واجبة الوجود» لمؤلفه ألكزاندر بروس وجوشوا رازموسين للاطلاع علىٰ كيفية إثراء تلك التطورات للنقاش الدائر حول وجود الإله.

جيراينت: السؤال التالي: هل الإله معقد؟ تحديدا، هل الإله أكثر تعقيدا من الأشياء التي تُفسَّر؟

لوك: هذا سؤال مهم جدا وشائع؛ لأنه ما من حجة لوجود الإله إلا وسرعان ما تستغرق فيما إذا كان الإله معقدا، وأن هذا التعقيد يجعل وجود الإله بعيد الاحتمال.

وقد قدم ريتشارد دوكينز هذا الاعتراض في الفصل الرابع من كتابه وهم الإله. ونسخة اعتراضه عبارة عن صيغة تقريبية؛ لذا علينا أن نملأ بعض التفاصيل. أعتقد أن الحجة يُفترَض أنها علىٰ هذا النحو.

(أ) الأشياء المنظمة المعقدة بعيدة الاحتمال.

(ب) المصمم أكثر نظاما وتعقيدا من الشيء الذي صممه.

(ج) ومن ثم، فإن المصمم أبعد احتمالا من الشيء المصمم.

(د) ولذا، فمما يَبعُد احتماله جدا وجود الإله (الذي هو المصمم النهائي). فمن المحتمل أكثر أن الكون يوجد وحسب.

إليك شيئين يمكنك أن تردَّ بهما. الأول: هل الإله معقد؟ إن الكون مكان معقد، فلا بد وأن يكون ثمة مجال في أفكارنا للتعقيد. وتكمن الخدعة في أن نتحصل علىٰ التعقيدات من أفكارنا، لا أن تُدخل إلىٰ أفكارنا. فالفكرة ليست عرضة للعقوبة جراء نتائجها المعقدة. وعادة ما يُعرَّف الإله بعبارات قليلة، وهي أنه: كائن واجب الوجود، حرُّ الإرادة، كليُّ القدرة. وقد يذهب البعض إلىٰ إمكانية وجود تعريفات أقصر، مثل: الإله كائن كامل، أو أنه أعظم كائن يمكن تصوره.

الثاني: أعتقد أن الحجة ارتكبت مغالطة التلاعب بالألفاظ؛ أي أن إحدىٰ الكلمات قد تغير معناها خلال مسار الحجة. حيث يقول دوكنز:

يكمن الحساب البدهي ذاته وراء ادعاء أن عين الفقاريات بعيدة الاحتمال جدا علىٰ أن تكون قد نشأت صدفة (من حيث عدد الطرق التي كان من الممكن

لأجزاء العين أن تترتب بها، وعدد تلك الترتيبات التي ستكون قادرة علىٰ الرؤية؟) وهذا الحساب البدهي نفسه يكمن وراء ادعائي المشابه بشأن الإله[1]

ولنكون أكثر دقة، علينا أن نعيد كتابة المقدمة المنطقية (أ) علىٰ هذا النحو «الأشياء المنظمة المعقدة يستبعد احتمالية أن تنشأ بالصدفة». ولكن لو أن هذا هو معنىٰ «بعيد الاحتمال» في الحجة؛ فينبغي أن يكون استنتاجها «من المستبعد جدا أن يكون الإله قد نشأ بالصدفة»، فهو ادعاء يسع المؤمن أن يتفق معه تماما؛ فلا يترتب عليه أن وجود الإله بعيد الاحتمال.

جيراينت: يفترض أن وجود الإله واجب، ولكن ماذا عن كون لا يوجد به شيء؟ يمكنني تصور كون كهذا، وليس هنالك إله.

لوك: من المؤكد أنه لا يوجد تناقض منطقي في عبارة «لا يوجد شيء»، ولكن هل ما يمكنك تصوره دليلا إلىٰ ما هو ممكن قطعا؟ وهل تتصور عدما فعلا، أم مجرد فراغ مظلم خاوٍ؟

جيراينت: يبدو أن القول بأن وجود الإله جزء من ماهيته يخلط بين ماهية الشيء ما إذا كان كذلك. فمن المؤكد أن «ما هو الإله؟» و«هل الإله موجود؟» سؤالان منفصلان.

لوك: حتىٰ أولئك الذي يؤمنون بأن وجود الإله واجب قطعا، فإن سؤالي: «ما الإله؟» و«هل الإله موجود؟» ليسا متماثلين. فمن المنطقي أن تسأل: هل واجب الوجود موجود؟

ومع ذلك، فقد رفعت الرهانات. فلا يمكن وجود مثل هذا الكائن مصادفة وحسب. بل إن وجود الإله إما أن يكون واجبا أو مستحيلا.

جيراينت: ولكن لو قلنا بالضرورة الفعلية -التي ذكرتها سلفا- فلا يبدو أن الإله يجيب علىٰ سؤال لماذا يوجد أي شيء. فالإله هو الكائن الممكن النهائي، ولكنه بالرغم من ذلك ممكن.

---

(1) Dawkins (1995).

لوك: هذا صحيح: فالإله الضروري الوجود فعليا هو إله ممكن ميتافيزيقيا، ولذا فهو عاجز عن تفسير وجود أي شيء. وبالنسبة للبعض، فإن هذا مبرر كافٍ لاستبعاد هذه الفكرة. وبالنسبة للآخرين. فإن الحجة الكوزمولوجية تدعي -بدلا من ذلك- أن الإله هو أبسط تفسير لكلية الأشياء الممكنة؛ فهم جميعا محدَثين في النهاية بفعل كيان كلي القدرة وحر الإرادة.

أعتقد أن القلق الذي يقف وراء تساؤلاتك هو أن فكرة الإله هذه تبدو مخادعة. كيف لشيء -لمجرد طبيعته- أن يفسر وجوده؟ أعتقد أن العديد من الفلاسفة المؤمنين متفقون علىٰ أن فكرة واجب الوجود فكرة شديدة الغرابة. فالإله مختلف تماما عن أي شيء نعهده. ولكن هذه هي القضية. فإن باطن الأرض لا يشبه أرضية هذا البيت. والحجة الكوزمولوجية تبحث عن شيء يمكنه تفسير الوجود نفسه؛ فالمادة المألوفة التي تتشكل منها حياتنا اليومية لن تقوم بذلك. فالأشياء الممكنة من حولنا تراسلنا بحثا عن تفسير، لكنها عاجزة عن تقديم هذا التفسير. فكل ما علينا هو الاعتياد علىٰ غرابة كل ما يمكنه تفسير الوجود نفسه؛ لأن البديل -في وجهة نظري- أسوأ من ذلك.

جيراينت: وما هو البديل؟

لوك: المذهب الطبيعي Naturalism[١] أي إن المادة الفيزيائية هي المادة

---

(١) حسنا، دائما ما توجد بدائل أخرىٰ. فقد ذهب هيوم إلىٰ أن تسلسل الحوادث الممكنة التي كل منها مفسر بما قبله ويفسر ما بعده- تفسير مناسب وغير ضروري. فهو يشبه الخيار (أ): الأرض ممتدة نحو الأسفل. فالتسلسل اللانهائي للحوادث كان من الممكن أن يكون مختلفا، وكان من الممكن ألا يوجد أصلا، ولذا لا يزال لدينا أسئلة. فيمكننا أن نقول مع فيلسوف القرن السابع عشر الهولندي سبينوزا- إن الكون رغم ما يظهر لنا- ليس ممكنا. وأن كل ما يحدث حولنا لا بد وأن يوجد، وكل يحدث لا بد وأن يقع ضرورة. وفي المقابل، يمكن وجود كائن واجب الوجود أشبه بالآلية منه بالشخص. وهذا سوف يجعل الكون يبدو واجب الوجود أيضا، وعلىٰ كل حال، فإن سيعالج الضبط الدقيق بنفس طريقة المذهب الطبيعي. ثم تأتي القِيَمِيَّة (Axiarchism) لجون ليزلي: وهي أن الكائنات الممكنة موجودة لأنها ينبغي أن تكون موجودة. حيث إن المتطلبات الأخلاقية خلاقة. وأنا أفترض أنها ستكون فكرة جيدة لو كانت حقيقية ولكنني لست فيلسوفا، ولا أستطيع التوصيف بشكل مناسب، فضلا عن نقد جميع الخيارات. ولكن ثمة تصور شعبوي في (Holt (2012)) ومناقشة أكثر استفاضة في (O'Connor (2008)).

الوحيدة. وأن القوانين الحتمية للطبيعة هي المبادئ الحتمية لكل الواقع. وأن الكون ممكن قطعا ولا يمكن تفسيره حتما. ومن بين سائر الأشياء التي كان من الممكن أن توجد والأحداث التي كان من الممكن أن تحدث، لماذا توجد هذه المادة وتلك الأحداث؟ يقول أتباع المذهب الطبيعي: إن هذا السؤال لا إجابة له، وليس أننا لا نعلم الجواب وبحاجة إلىٰ مزيد من التفكير أو الأدلة. فالسؤال عندهم غير قابل للجواب بالأساس.

جيراينت: من المؤكد أننا عثرنا علىٰ الخيار الأبسط. فلا حاجة إذن لكائنات مجهولة ومحيرة. وكما في العلم، سنظل قريبين من الدليل التجريبي ونقول ببساطة: «هذه ببساطة هي ماهية الأشياء». وعلىٰ حد تعبير شون كارول Sean Carroll: «ثمة سلسلة من التفسيرات الخاصة بالأشياء التي تحدث في الكون، والتي تصل حتما إلىٰ القوانين الأساسية للطبيعة وتتوقف»[1]

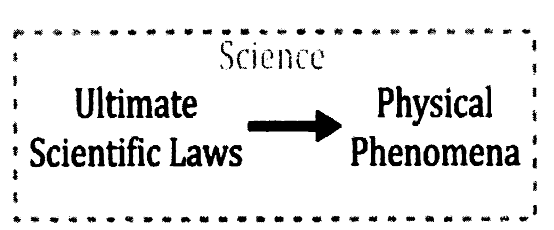
إن مفاد القوانين الحتمية للطبيعة هو تفسيرها للحقائق التجريبية للعلم. ومن المؤكد أن هذا بالأساس لأنه من الناحية التطبيقية كثيرا ما يكون حل المعادلات متجاوزا لنا. وبالرغم من ذلك، ليس هذا عديم الأهمية. فإن وجود القوانين الأساسية للطبيعة بحوزتنا يعني أن لدينا نظرية رياضية بسيطة ودقيقة تفسر جميع البيانات التي جمعها العلم. فلو كان ثمة لحظة لتحية العلم الشعبوي، فهذه هي إذن.

لوك: تذكر ما الذي يقوم بالتفسير. فباستخدام أفضل فهم لدينا للقوانين العلمية للكون، يمكننا فهم الظواهر الفيزيائية التي نراها حولنا. علىٰ هذا النسق:

قوانين علمية حتمية ▬ ظواهر فيزيائية

---

(1) edge.org/discoursè/science_faith.html

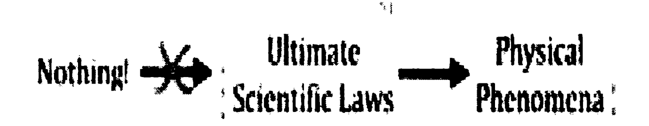


ومع ذلك، فإن العلم -في حد ذاته- لا أدريٌّ فيما يخص تفسير أي شيء للقوانين الحتمية للطبيعة.

وفي المقابل، فإن المذهب الطبيعي ليس لاأدريا. وإنما هو ادعاء عدم وجود ما يفسر القوانين الحتمية للطبيعة. فما من أسهم صوب خانة العلم،

المذهب الطبيعي:

العدم! القوانين الحتمية للعلم ➲ ظواهر فيزيائية



في المخطط السابق، كلمة «العدم» (nothing) كما هو معلوم في لغتنا تعني «لا شيء البتة»، وليس نوعا معينا من الأشياء أو حتىٰ القليل جدا من شيء ما. ولا أدري لماذا بعض الكوزمولوجيين يرسبون في اختبار اللغة للمبتدئين حين يتعلق الأمر بهذه الكلمة [يعني المترجم هنا بتلاعب بعض الملاحدة بالمصطلحات العلمية كالفراغ الكمومي Quantum Vaccum حيث يساوون بينه وبين العدم وكلاهما مختلفان في اللفظ والمعنىٰ -المترجم-].

وفي المقابل، يقترض المؤمنون أن الإله خلق الكون وأبقاه بطريقة منسجمة ومعقولة وقابلة للاكتشاف. حيث إن اكتشاف تلك القوانين يسمح لنا بفهم الظواهر الفيزيائية والتنبؤ بها[1] كما في هذا المخطط:

---

(١) لا يفترض أن هذا المخطط يمثل الربوبية؛ حيث إن العلاقة في المخطط تسري علىٰ كل مكان وزمان في الكون.

→ Ultimate Scientific Laws → Physical Phenomena

الإيمان بوجود الإله:

الإله ➲ القوانين الحتمية للعلم ➲ الظواهر الفيزيائية

ومرة أخرىٰ، هذا ليس إخراج إله ما بعد الثورة العلمية المعدَّل شيئا فشيئا من الصورة عبر التقدم. وفقا للقديس أغسطين Augustine، عام ٤١٥م تقريبا: «إن المسار العادي للطبيعة في الخلق كله لديه قوانين طبيعية محدَّدَة وهي تحدد لكل شيء ما يمكنه القيام به وما لا يمكنه وعلىٰ مدار حركة الطبيعة هذه كلها ومسارها، توجد قوة الإله». ويقول توما الأكويني في القرن الثالث عشر: «ثمة وسائط معينة للعناية الإلهية؛ فهو يحكم الأشياء التي أدنىٰ بتلك التي أعلىٰ، ليس بسبب قصور في قدرته، وإنما بسبب فيض إحسانه، ولذا فإن منزلة السببية ممنوحة حتىٰ للمخلوقات[١]

فنحن لا نقدم الإله هنا علىٰ أنه منافس لأي نظرية علمية. إن منافسة الإيمان بالإله هو المذهب الطبيعي، وليس العلم، كما أن الإيمان بالإله يقدم تفسيرا، بينما لا يقدم المذهب الطبيعي شيئا. ولو ظهر أن المذهب الطبيعي أرجح من الإيمان، فسيكون هذا بسبب أن الإيمان قد حاول دون حكمة تفسير ما لا يقبل التفسير، وليس لأن المذهب الطبيعي قدم تفسيرا أفضل -أو حتىٰ أي تفسير- للقوانين الحتمية للطبيعة. وكذلك بالتأكيد ليس بسبب أي نظرية علمية.

ومن ثم فإن تأثير نجاح العلم يبدو واحدا في كل من المذهب الطبيعي والإيمان بالإله. فالقوانين الحتمية للطبيعة ممكنة بالنسبة لدىٰ كل منهما؛ بالنظر

---

(١) أوغسطين (١٩٨٢، ص٩٢). الأكويني مقتبس من كريفت (١٩٩٠)، السؤال ٢٢.

إلىٰ الركام الحسابي الكبير للقوانين الممكنة. ففي الفيزياء، نحل المعادلات ونقارن بعض الاكتشافات التجريبية من دون الحاجة إلىٰ إعمال رأي بشأن ما يمكن أن يكون أعمق من تلك القوانين. والإيمان بالإله لا يخبرنا بماهية القوانين الحتمية للطبيعة؛ ولذا فنحن بحاجة إلىٰ العلم. ولكن المذهب الطبيعي لا يخبرنا بأي منهما، وإنما يخبرنا فقط بأنه ما من شيء سوىٰ المادة الفيزيائية، ولا يخبرنا بماهية المادة الفيزيائية ولا وظيفتها. فنجاح العلم ليس نجاحا للمذهب الطبيعي. وتنبؤات المذهب الطبيعي ليست تنبؤات علمية.

جيراينت: فكيف نَفصِل بين المذهب الطبيعي والإيمان بالإله؟

لوك: تماما كما نفعل مع سائر الأفكار. فنحن نفكر بشأن مدىٰ احتمالها في جوهرها. وندور في فلكها لبرهة من الزمن، لنرىٰ ما إذا كان أي شيء حولنا يبدو مدهشا أو غير متوقع. سأعيد ذكر مثال سابق، إذا درنا في فلك «اللص الذي خمن شفرة الخزنة» فينبغي أن نكون في غاية الذهول لأن اللص أدخل شفرة مكونة من ١٢ رقما بشكل صحيح من المرة الأولىٰ. وبالطبع، أحيانا تحدث أشياء مذهلة. ولكن ربما علينا تجربة فكرة أن «في الأمر سرٌّ ما».

لذا دعنا ندور في فلك المذهب الطبيعي. ألق نظرة علىٰ هذا الكون. هل أصابك الذهول؟ حسنا، إذا كان ثمة كون أصلا، فلا بد وأن يكون بكيفيةٍ ما. فلماذا لا يكون بهذه الكيفية؟ أليس كذلك؟

جيراينت: أها إن «تعيين الكيفية في مقابل عدم تعيينها» هو بمثابة رفع الراية الحمراء للبيزيين Bayesian[1] فإن أحد المبادئ الأساسية لدىٰ نظرية الاحتمالات البيزية هو أن المعلومات لا بد وألا يتم تجاهلها اعتباطا. فلا بد من أخذ جميع الأدلة في الاعتبار.

فعلىٰ سبيل المثال، افترض أن كيث ربح اليانصيب، واختار الأرقام الصحيحة من بين عشرة ملايين احتمال. فإن احتمالية ربح كيث بنزاهة هي واحد

(١) تذكر نقاشنا لنظرية الاحتمالات البيزية قرب نهاية الفصل السابع.

في عشرة مليون! فهل غش كيث؟[1] قد تتحمس إلىٰ القول إن علينا حساب احتمالية فوز شخص ما باليانصيب، وليس احتمالية هذا الشخص. ولكن هذا لن يكون، لأن هذا يفترض ضمنا أن كيث محض لاعب يانصيب تقليدي، ولكن هذه هي عين الفكرة التي نريد اختبارها. فلكي نحسب احتمالية شخص ما، علينا أن نتخلىٰ عما نعلمه عن كيث، وقد يكون بعض تلك الأمور مهمة. فلربما يكون كيث معروفا عنه أنه غشاش، وأنه يعرف مسؤول اليانصيب، وأنه قد شوهد وهو يعبث بالآلة.

لوك: صحيح. فنحن نفكر بشأن مدىٰ احتمالية هذا الكون وفقا للمذهب الطبيعي. يبدو لي أنه بينما لا يوجد كون مدهش وفقا للمذهب الطبيعي، ثمة العديد من الأكوان الممكنة؛ فكر في جميع التغيرات التي رأيناها إلىٰ الآن، وحتىٰ تلك التي لم نفكر فيها بعد!

بالنظر إلىٰ المذهب الطبيعي، ما من توقع بأن كونا فيزيائيا ممكنا أكثر احتمالا من غيره؛ لأنه ما من شيء يفوق القوانين الحتمية للطبيعة، ما من شيء يعطينا تلميحا يصرف انتباهنا إلىٰ إمكانية بعينها. فليس الأمر مجرد أننا لا نعرف تلك العلل. وفقا للمذهب الطبيعي، ببساطة لا توجد حقائق تفسر سبب وجود الواقع الممكن بهذه الكيفية دون غيرها.

ومن حيث الاحتمالات، نصف تلك النظريات بأنها غير مفيدة. وهذه ليست كلمة ازدرائية؛ وإنما الاحتمالية عبارة عن تحديد درجة التأكد وفقا لما نعرفه، وأحيانا لا نعرف شيئا ذا صلة. وتميل النظريات غير المفيدة إلىٰ افتراض القليل جدا، ولذا تبدوا بسيطة. ولكن احتماليتها تحت رحمة مجموعة من الاحتمالات الممكنة. فإذا كانت تلك المجموعة كبيرة جدا، فسوف تكون الاحتمالية ضعيفة جدا، بحيث تكون احتمالية أي إمكانية معينة ضئيلة جدا. ولتوضيح ذلك، فإنه كلما زاد عدد الأرقام المطلوبة لفتح الخزنة، زادت الإمكانيات، وقلت احتمالية تخمين الشفرة من قِبَل لص لا علم له بالأمر.

---

(١) يرجع الفضل في مثال اليانصيب هذا إلىٰ بريندون بروار من جامعة أوكلاند.

وكما ذكرنا سلفا، فإن الاحتمالية الصغيرة عبارة عن فرصة لدراسة الآراء المختلفة. فإذا كان ثمة فكرة ما تجعل هذا الكون يبدو أكثر احتمالا -من دون كونها مسلم بها أو متلاعبا فيها أو غير معقولة في جوهرها لأي سبب آخر- فإن احتمالية صحتها عندئذ أكبر.

جيراينت: بإمكاني أن أرىٰ إلىٰ أين يتجه هذا. فإذا كان الإله موجودا ويضع قوانين الطبيعة؛ فعندئذ -إذا كان شيء ما يستهوي الإله بخصوص هذا الكون- سيبدو هذا الكون أكثر احتمالا

ومع ذلك، فإن المشكلة هي أننا لا نستطيع كتابة معادلات تتنبأ بما يفعله الإله. فمن أين ستحصل علىٰ تلك الاحتمالات؟

لوك: هذا سؤال جيد. لا يمكن للإله أن يكون جزء من نظرية علمية؛ لأن الإله ليس شيئا فيزيائيا. ولكن الأمر ذاته ينطبق علىٰ المذهب الطبيعي؛ فهو ليس نظرية علمية أيضا. فلا توجد معادلات للمذهب الطبيعي. وعلىٰ هذا فإن معادلات الفيزياء تبدوا محايدة تجاه كل من النظريتين.

ولذا سنحتاج إلىٰ استخدام حدسنا هنا، بدلا من توقع حساب دقيق لتلك الاحتمالات. والخيار البديل لذلك هو أن نكف عن محاولة استنتاج ما إذا كانت تلك الأفكار صحيحة.

جيراينت: حسنا. ها أنا أستعد. هذا ما كنا ننتظره جميعا ائتنا بالضبط الدقيق.

لوك: إن الضبط الدقيق يظهر لنا إحدىٰ خصائص قوانين الطبيعة -كما نعهدها- والتي تبدو مذهلة، وهي شيء ما يتعلق بالمعادلة يصرخ بحثا عن مزيد من التفسير. حيث إن كوننا لديه الموهبة النادرة جدا التي هي السماح بوجود كائنات ذكية أخلاقية؛ فهذه إحدىٰ صور الحياة التي لديها وعي وإرادة حرة، وتستطيع أن تحيا وتتعلم وتحب، ويمكنها أن تفكر بشأن الرياضيات والموسيقىٰ، ويمكنها دراسة كونها، ويمكنها اتخاذ قرارات أخلاقية مهمة -حيث يمكنها اختيار

فعل معروف أو إلحاق ضرر بالآخر- ويمكنها التواصل، والتعاون، وتطوير شخصية ذات خلق.

جيراينت: ولكن كيف للإيمان بالإله أن يجعل أي كون معين أكثر احتمالا من غيره؟ يفترض أن الإله كلي القدرة؛ فهو قادر علىٰ فعل أي شيء لا يتضمن تناقضا. فإذا كان الإله قادرا علىٰ فعل كل شيء؛ فإنه قادر علىٰ فعل أي شيء. فما من شيء يمنع كائنا كلي القدرة من خلق ما يشاء. وبناء علىٰ ذلك، فإن التفسير الذي لا يوصلنا إلىٰ توقع نتيجة معينة شأنه في السوء شأن عدمه قطعا. ولذا فإن الإيمان بالإله شأن في السوء شأن المذهب الطبيعي.

لوك: لنفكر بالأمر. أنا لا أستطيع العزف علىٰ الطبول، هذا أمر ذو صلة؛ فأبق انتباهك معي. إذا وضعتني في غرفة بها عدة الطبول، وتساءلت عن الضوضاء التي قد تتوقع سماعها، فإن قصوري يحجم خياراتي. ومن بين كل الضوضاء التي يمكن أن تُنقل عبر الباب، لا تتوقع تلك التي تصدر عن عازف طبول ماهر. وفي المقابل، إذا دعوت أسطورة الروك ديف جرول[١] -نيرفانا، وفو فيترز، وكوينز أوف ذا ستون إيدج- إلىٰ الغرفة؛ حينئذ يوجد نطاق أوسع بكثير من الأصوات الممكنة. فمع نطاق أوسع من القدرة يأتي نطاق أوسع من الإمكانات، ولذا يقل الدافع إلىٰ توقع أي إمكانية بعينها.

ولكن فكر مليا في هذا المثال. فإن جرول ليس أكثر قدرة وحسب. بل إنه موسيقي أيضا. فهو قادر علىٰ إصدار نطاق أكبر من الأصوات، ولكن ثمة أصوات بعينها يرغب هو بها أكثر من غيرها؛ ألا وهي الأصوات الموسيقية. فهو علىٰ الأرجح سيبدأ في عزف «لا أحد يعلم» 'No One Knows' لا أن يعزف مثل الهواة.

إليك صيغة الحجة. أنت محق في قولك إن القدرة الكلية للإله لا توصلنا إلىٰ شيء. بيد أنه من المفترض أيضا أن الإله تام الكمال. فالإله ليس مصنع

(١) نأمل كثيرا أن يقرأ ديف هذا الكتاب!

أكوان خارج عن السيطرة، يبث الواقعية في جميع الاتجاهات دون تمييز. بل نتوقع أن الإله يخلق أكوانا بها خصائص مرغوبة أخلاقيا.

كيف لنا أن نعلم ما يعتبره الإله مرغوبا أخلاقيا وما ليس كذلك؟ فمن العجرفة المتهورة افتراض أننا قادرين علىٰ قراءة مشيئات كائن كلي المعرفة وكامل أخلاقيا.

سأحاول تلخيص الحالة المفصلة التي نص عليها ريتشارد سوينبيرن Richard Swinburne في كتابه وجود الإله The Existence of God. خلاصة الأمر أن لدينا معرفة أخلاقية. وهي ليست كاملة، شأنها شأن معرفتنا بالواقع الفيزيائي، فهي مجتزأة ومزعجة. ولكن الشخص الذي يؤمن أن الحب أفضل من الكره وأن البشر لديهم كرامة وقيمة يؤمن بشيء حقيقي، يؤمن به إيمانا مبررا.

إليك هذا القياس. إذا ما اكتشفنا نظرية رياضية، فنحن نعرف شيئا ما يعرفه عالم بلغ الكمال في الرياضيات. وبالمثل، إذا اعتقدنا أننا توصلنا إلىٰ حقائق أخلاقية؛ فإن لدينا لمحة عن المبادئ الأخلاقية التي لا بد وأن تكون لدىٰ كائن بلغ الكمال في الأخلاق.

في الواقع، يبدو أننا لا نحتاج إلىٰ الكثير من التأمل هنا علىٰ الإطلاق. فالحب بحاجة إلىٰ محب. والكون الأخلاقي بحاجة إلىٰ أشخاص أخلاقيين؛ أي مخلوقات ذات إرادة حرة يمكنهم الوصول إلىٰ الأشياء الحميدة وتقديرها، وفعل صنائع المعروف، والتفاعل مع بعضهم البعض والتأثير في بعضهم البعض، وتولي مسؤولية بعضهم البعض، واستكشاف ما يحيط بهم، وتعلم حلاوة الحب والمعرفة والحقيقة. فإن الكون القادر علىٰ إنتاج كائنات كهذه ورعايتهم لكون ذي قيمة أخلاقية، لكون حري بالإله أن يخلقه.

وعلىٰ ما يبدو، فإن كلمة «حريٌّ» هذه تكفي. تذكر لعبة الأوراق التي ناقشناها سلفا، حيث حصل بوب خمس مرات علىٰ رويال فلاش. فتنظر جين بارتياب، إلا أن بوب يواجهه قائلا: «ألا تعرفينني!» أنا شخص حر؛ لذا أستطيع فعل ما أشاء. فمن العجرفة المتهورة أن تفترضي أنني قد أغش. إلا أن جين تظل

مرتابة، ولديها مبرر قوي. فإن احتمالية الحصول رويال فلاش خمس مرات هي واحد في مائة مليار مليار مليار. ومن ثم، فإن جين ليست بحاجة إلىٰ افتراض أن بوب قد يغش، أو حتىٰ من المحتمل أن يغش. فكل ما تحتاجه هو افتراض أنه -قبل بدء لعبهم- لا تقارن احتمالية غش بوب بواحد في مائة مليار مليار. فإن مجرد افتراض مسبق بالغ القوة ببراءة بوب سينفي اتهام جين. وبالمثل، فإن افتراضا مسبقا بالغ القوة ضد فكرة أن الإله يريد خلق كون به أشخاص أخلاقيين سيؤثر في استنتاجاتنا.

إليك بيت القصيد. كما رأينا، ثمة مساحات شاسعة قاحلة من الأكوان التي لا يمكن الحياة بها رغم أنها ممكنة الوجود. والمذهب الطبيعي -دون مزيد من المعلومات- يحفظ رهاناته من خلال مد احتماليته علىٰ جميع الإمكانات. وهذا يترك المذهب الطبيعي تحت رحمة مجموعة الطرق الممكنة التي كان من الممكن للواقع المادي أن يشهدها؛ وهذا موقف لا يحسد عليه قطعا. فهو بمثابة أسوأ افتراض ممكن غير مفيد؛ لأنه تحت رحمة مجموعة مكونة من كل طريق ممكن كان من الممكن للواقع الفيزيائي أن يسلكه.

وفي المقابل، فإن الإيمان بالإله يقدم تفسيرا، بينما يعجز المذهب المادي والعلم عن ذلك. فإن لديه سرا مهما تجعله يراهن بشدة علىٰ المجموعة الفرعية الصغيرة من الأكوان التي تسمح بأشخاص أخلاقيين. وهو يربح المزيد كلما ظهر هذا الكون أكثر.

علىٰ رسلك　　إن الإله لا يلعب بالنرد؛ كما قال أينشتاين (رغم أن ذلك في سياق مختلف). فلماذا يراهن الإله علىٰ الأكوان؟

لوك: حسنا، لنكون واضحين بشأن قياس الرهان هذا. فالاحتمالات التي نتحدث عنها عبارة عن معتقدات وليس فرص، حيث استعرنا هذا المصطلح من الفصل السابع. فنحن لا نقول إن خلق الإله للكون كان صدفويا. وبالمثل، ففي معرض مناقشة احتمالية هذا الكون وفقا للطبيعية، نحن لا نفترض وجود عملية عشوائية تنشئ أكوانا بسحب المذهب الطبيعي. هذه ليست الفرص الموضوعية

التي نعثر عليها في النظريات الفيزيائية، والتي تصف الخواص الصدفوية للأشياء الفيزيائية.

هذه احتمالات بيزية. فهي متعلقة بما نعلم. وهي في رؤوسنا. ونحن بحاجة إلىٰ معرفة ما إذا كانت تلك الأفكار صحيحة، ولذا نحاول التفكير من خلال تبعاتها. فالاحتمالات البيزية عبارة عن وسيلة لمساعدتنا. فالإيمان بالإله هو الذي يراهن، وليس الإله نفسه.

جيراينت: ولكن لا يزال عالق بأذهاننا صورة الإله وهو يتجول في مكتبة الأكوان الممكنة، باحثا هنا وهناك عن كون مناسب. وهذا قد يشبه خلق الراحل تيري براتشيت Terry Pratchett نوعا ما[(١)]:

حيث تلعب الآلهة مباريات علىٰ حساب أقدار البشر. ولكن عليهم أولا أن يضعوا جميع القطع علىٰ الطاولة، ثم يبحثوا في كل مكان عن النرد.

لوك: تماما كما أن الاحتمالات موجودة في رؤوسنا، كذلك الإمكانيات. فنحن من يقابله مجموعة من الإمكانيات عندما ندور في أفلاك الإيمان بالإله والمذهب الطبيعي. ويمكننا تسميتهم إمكانيات من حيث المفهوم؛ لأن كل ما نعرفه هو أن تلك الأكوان الأخرىٰ ممكنة.

فإذا درت في فلك المذهب الطبيعي، بمعزل عن الاتساق الذاتي، ما من قيد علىٰ ما نتوقعه عن الكون الفيزيائي وفقا للمذهب الطبيعي؛ حيث لا توجد مبادئ للواقع الملموس تفوق قوانين الطبيعة. فإن مجموعة الإمكانيات التي من حيث المفهوم هائلة؛ لأن كل ما نعرفه أن أي كون متسق مع نفسه كان وجوده ممكنا وفقا للمذهب الطبيعي.

وإذا درت الآن في فلك الإيمان بالإله، حيث كل ما نعرفه: أي الأكوان ممكنة؟ وهذا ليس سؤالا عن أي الأكوان ممكنة بالنسبة للإله؟ فما لم تكن إلها، ليست لديك هذه المعلومة؛ ولذا لا تستطيع تصورها. تذكر أن الاستنباط متعلق

---

(١) مقتبس من كتاب ((Soul Music (1994, p. 13).

بجدية التفكير قدر استطاعتك وبحسب المعلومات التي لديك. ولذا فإن مجموعة الإمكانيات النظرية -في الواقع- هي كما في السابق تقريبا؛ لأن كل ما نعلمه هو أن أي كون متسق ذاتيا كان وجوده ممكنا وفقا للإيمان بالإله. وإنما يفصل وجهتي النظر عن بعضهما الاحتمالات التي يضعونها علىٰ تلك الإمكانيات.

ولماذا قد يحتاج الإله إلىٰ ضبط الكون بدقة اصلا. ألم يكن بمقدوره أن يخلق حياة علىٰ أي كوكب قديم؟

وفقا للإيمان بالإله، فإن قوانين الطبيعة ما هي إلا وصف لكيفية تشغيل الإله للكون. فلا معنىٰ لقولهم إن الإله كان بمقدوره عمل استثناء متسق لقوانين الطبيعة؛ لأن الاستثناء المتسق في حد ذاته عبارة عن قاعدة لقد ذكرني هذا بكتاب (من خلال الزجاج الشفاف) للويس كارول، حيث تشرح فيه الملكة البيضاء لآليس أن:

«القاعدة هي: انهمك في الغد وفي الأمس، ولكن لا تنهمك في اليوم أبدا».

فاعترض آليس قائلا: لا بد وأن تأتي أوقات «للانهماك في اليوم».

فقالت الملكة: «لا لن يحدث، فالانهماك في كل يوم آخر سوىٰ هذا اليوم»[1]

وعلاوة علىٰ ذلك، يبدو ضربا من الطيش أن يخلق الإله كونا قديما ثم يتعين عليه أن يدفعه باستمرار لأن يكون صالحا للحياة. فالكون الذي لديه القوانين المناسبة منذ البداية أبسط ويسهل بحثه علميا.

ومع ذلك، يمكنني رؤية مشكلة بهذه الحجة. سألخص القضية لكي تتضح المشكلة.

١- المذهب الطبيعي غير مفيد من حيث القوانين الحتمية للطبيعة.

---

(١) كارول (١٨٧١) الفصل الخامس.

٢- يفضل الإيمان بالإله القوانين الحتمية للطبيعة التي تسمح بوجود أشخاص أخلاقيين، مثل أنماط الحياة الذكية.

٣- إن قوانين الطبيعة وثوابتها كما نعهدها مضبوطة بدقة؛ فالنادر القليل منها فقط من ينتج حياة ذكية.

٤- وعلىٰ هذا، فإن احتمالية هذا الكون أكبر بكثير وفقا لرؤية الإيمان بالإله منها لدىٰ المذهب الطبيعي.

جيراينت: صحيح. كان من الممكن وجود فجوة كبيرة بين القوانين الحتمية للطبيعة في الخطوة الأولىٰ والثانية، وبين القوانين التي نعهدها في الخطوة الثالثة. وقد أحرز الفيزيائيون تقدما كبيرا في تعميم فهم كيفية عمل الطبيعة وتنقيح هذا الفهم، بدء من أرسطو ومرورا بنيوتن وأينشتاين[١]، وحتىٰ العديد من علماء القرن العشرين الذين وضعوا فيزياء الكم. بيد أنه من المؤكد تقريبا أن الفيزياء والكوزمولوجيا بحسب ما توصلا إليه في بداية القرن الحادي والعشرين ليسا آخر من يصف الأعمال كواليس عمل الكون. وإنما المذهب الطبيعي غير مفيد فيما يخص القوانين الحتمية للطبيعة. فليس بوسعنا تغيير القوانين الحتمية للطبيعة وثوابتها لاكتشاف ما إذا كانت مضبوطة بدقة؛ فلا ندري ما هي!

يبدو أن الحجة في مأزق. فإذا ادعىٰ مؤمن بالإله أن الإله قد ضبط قوانين الطبيعة وثوابتها -التي نعهدها- بدقة، فهو عندئذ في طريقه إلىٰ مواجهة مع العلم، وليس مجرد المذهب الطبيعي. فسوف تصبح حجة الضبط الدقيق ممارسة أخرىٰ لـ «إله الفجوات». وقد تفسر نظريات علمية أعمق قيمة الثوابت، ومع ذلك -مرة أخرىٰ- تزيل الحاجة إلىٰ تفسير إلهي.

لوك: هذا أمر مثير للقلق، وهذه الفجوة بين قوانين الطبيعة التي نعهدها والقوانين الحتمية للطبيعة كثير ما يُتغاضىٰ عنها. ومع ذلك، لا أعتقد أنها تفسد الحجة، وذلك لأسباب قليلة.

---

(١) إذا كنت تشك في مكانة أرسطو كفزيائي عظيم يضاهي نيوتن وأينشتاين، فاقرأ (Rovelli (2015)).

وأقصىٰ ما نستطيع فعله هو دراسة قوانين الطبيعة التي نعهدها، بالإضافة إلىٰ الفيزياء الأعمق التي يمكن استيعابها. وقد توصلنا إلىٰ أن الضبط الدقيق يبلغ من العمق بحسب ما يمكننا نحن أن نتعمق. وعلاوة علىٰ ذلك، توصلنا إلىٰ أن الضبط الدقيق يتبعنا كلما تعمقنا. فلا تبدو أي إشارة لاختفائه علىٰ المستويات الأعمق. فيمكننا تفسير كتلة البروتون من حيث -من بين أشياء أخرىٰ- كتل الكواركات؛ وهي بدورها من حيث خواص مجال هيجز؛ وهو بدوره -ربما- من حيث تناظر فائق. وتظهر القيوم الإنثروبية- الإنسانية- علىٰ المستويات كافة. وبالمثل، يمكن ترجمة مستلزمات الحياة من حيث معدل التوسع الأولىٰ والكثافة والاضطرابات الكونية إلىٰ مستلزمات لخواص التضخم.

ثانيا، ما لم تكن القوانين الحتمية للطبيعة مختلفة جذريا عن جميع القوانين التي نعهدها، فسيظل هنالك ظروف أولية يمكن تغيرها، حتىٰ لو لم يكن ثمة ثوابت. ففي نظرية الأوتار -علىٰ سبيل المثال- ثمة مساحة كبيرة من الحرية؛ حيث تصبح الثوابت التي في نظرياتنا الحالية ظروفاً أولية، ولكن تظل حرة كما هي. ودائما ما نظل في حرية لتغيير أي من الإطارات الرياضية أو جميعها، مثل شكل المعادلة.

ثالثا، لا تزال الأكوان التي تصفها القوانين التي نعهدها أكوانا ممكنة. فلا يوجد تعارض منطقي أو رياضي في وصفها؛ فلو كان ثمة شيء من ذلك، لاستبعدناها. فهي تمثل قطاعا من النطاق الفيزيائي الممكن، حيث تكون الحياة فيه مضبوطة بدقة. وكما أسلفنا، فحتىٰ لو كان حلم أينشتاين بنظرية معامل حر أدنىٰ حقيقيا، فهذا لن يثبت أن الكون لم يكن اختلافه عما هو عليه ممكنا.

وعلاوة علىٰ ذلك، يظل موضع نقاش ما إذا كان ينبغي أن نتوقع بحسب المذهب الطبيعي أن تكون القوانين الحتمية للطبيعة من دون معاملات حرة. فإذا كنا نقبل حقائق محتملة، فلماذا لا نقبل القليل من الأرقام المحتملة[1]؟ ولماذا

---

(١) هل شفرة أوكام التي تتنبأ بصحة النظريات البسيطة- مبدأ استنتاجيا عاما ينبغي اتباعه في جميع العوالم، أم أنه قاعدة تجريبية تعمل في كوننا وحسب؟ من جهة، إن مضاعفة الافتراضات ينتج عنه مضافة =

نتوقع نظريات بسيطة أصلا وفقا للمذهب الطبيعي؟ فإذا كان الأمر كذلك، فقد بحثنا بعض القوانين الحتمية الممكن للطبيعة، حتىٰ لو كان من المستبعد كونها هي القوانين الحتمية للكون. وأعتقد أن هذا كاف لنهوض الحجة واستمرارها.

جيراينت: ثمة مشكلة كبيرة، في نظري. يمكنني تصور أكوان أفضل من كوننا هذا. وأنا أتوقع أن الكائن الكامل أخلاقيا سيخلق كونا كاملا أخلاقيا، أو علىٰ الأقل أفضل الأكوان المتاحة. ولذا أتوقع أن ينظر الإله إلىٰ هذا الكون الممكن، ويلاحظ السرطان والموت والكره والحروب والمعاناة والألم؛ فيعيده مسرعا إلىٰ الرف. فلربما يفضل الإله كونا ذا أشخاص أخلاقيين، ولكن ليس بهذه العبثية.

فالشر والمعاناة مدهشان جدا إذا ما درنا في فلك الإيمان بالإله. بينما يبدوان أقل إدهاشا وفقا للمذهب الطبيعي، حيث يمكن لأي كون قديم أن ينشأ. فعلىٰ كل، يبدو أن هذا الكون ليس شديد الاحتمال وفقا لمذهب الإيمان بالإله.

لوك: إن هذه الحجة هي الأكثر شهرة في نفي وجود الله: مشكلة الشر والألم. حيث أشار الفيلسوف الاسكتلندي ديفيد هيوم أن «الأسئلة القديمة التي طرحها إبيكرس Epicurus لم يُجاب عليها بعد: هل هو [الله] يريد منع الشر لكنه لا يقدر؟ فإذًا هو عاجز؛ أم هل هو قادر ولكنه لا يريد؟ فإذًا هو شرير؛ هل هو قادر ومريد معًا؟ فمن أين جاء الشر؟[1]

.لقد كان البحر مدادًا من الحِبر لمناقشة هذه المشكلة؛ حيث قد ناقشها من قبلُ الإغريقُ القُدامىٰ، وأثارها سفر أيوب إلا أنه لم يرد عليها بشكل مباشر،

= الاحتمالات؛ مما يعطي احتماليات أصغر أيضا للنظريات المعقدة. ومن جهة أخرىٰ، أعتقد أنه يمكنني تصور عوالم تكون فيها شفرة أوكام نصيحة سيئة. فلو كان العالم فوضوي تماما، سيكون توقع البساطة عندئذ ضربا من السذاجة وفي العادة خطأ. أضف إلىٰ ذلك قائمة المشكلات الطوية التي أثيرت ولم تُجَب في هذا الفصل.

(١) انظر: (Hume (1779), Part 10.). يدور بعض الشك حول ثبوت ما اقتبسه هيوم من إبيكرس (٣٤١٢٧٠ ق.م.).

ولاتزال تثير الغضب والحيرة إلىٰ اليوم. سأطرح هنا بعض النقاط، ولكن لن يُقدم هذا سوىٰ النزر اليسير في هذه المشكلة.

جاء الرد الأساسي الإيماني عليها من أوغسطين Augustine: «اقتضىٰ حكم الله أنه من الأفضل أن يُخرج الخير من الشرِ بدلًا من عدم السماح بوجود أي شر.»[1] هل هذا معقول علىٰ الإطلاق؟ ما هو الخير الذي يستحق المخاطرة بالشر الذي نراه؟ يوجد اقتراح شائع يتمثل في الإرادة الحرة: هبة خطيرة، إلا أنها ضرورية لوجود الحب - أو في الواقع أيّ عمل أخلاقي هادف. وبعد ذلك يمكن أن نناقش ما إذا كان من الممكن وجود عوالم أخرىٰ أفضل من هذا العالم مع أكبر قدر من حرية الإرادة، وهلم جرًا.

دعنا نلتزم بما يتعلق بموضوعنا. لاحظ أن حجة التصميم ومشكلة الشر يعتبران وجهين لعملة واحدة؛ حيث إن كلاهما يسأل: هل أراد كائن مثالي من الناحية الأخلاقية أن يخلق عالمًا كهذا؟ ومن المفيد أيضًا أن تعلم ما إذا طُرحت حجة دفاعية عن الله تُفسد كذلك حجة التصميم. علىٰ سبيل المثال، إذا اعترض المؤمن قائلًا إن معرفتنا محدودة ونطاقنا المكاني والزماني محدود، وبالتالي لا نستطيع الحكم علىٰ ما إذا كان الخير قد يأتي من بعض ما نراه شرًا؛ ولكن يمكن أن يرد أحد أنصار المذهب الطبيعي قائلًا ولا يمكِننا كذلك الحكم علىٰ ما إذا كان الشر قد يأتي مما نراه خيرًا في هذا الكون. وبالتالي، ربما لا نعرف بعد كل ذلك ما إذا كان الله يريد وجود هذا الكون.

ومع ذلك، تذكر أننا نتفق مع المؤمنين في نظرتنا للعالم، فيُعلم المذهب الألوهي أن الخير الذي ينتج عن ما نراه شرًا يعتبر أكثر بكثير من الشر الناتج عن ما نراه خيرًا؛ حيث يوجد إله محبٌ للخير يوجه الكون من وراء حجاب إلىٰ نهايات خيّرة.

---

(1) Enchiridion, Chapter VIII.

يمكن أن يتقبل أتباع المذهب الألوهي في النهاية الأمر الواقع ببساطة ويقولون: نعم يعتبر وجود الشر في عالمنا أمرًا مفاجئًا لنا ولا ندري لماذا هو موجود ولماذا يوجد هذا القدر الكبير منه، ولكن الأمر ليس مفاجئًا بالنسبة لنا بنفس القدر عند أتباع المذهب الطبيعي. فلا يمكن أن توجد عوامل أخلاقية في الكون الطبيعي القياسي علىٰ الإطلاق، وبالتالي فلن يشتمل علىٰ خير أو شر. وبالتالي، يواجه المذهب الطبيعي مشكلة وجود الشر ومعها مشكلة وجود الخير - كلاهما مفاجئٌ بالنسبة لهم.

جيراينت: حسنًا، أنا متأكد أننا لا نستطيع تسوية تلك النقاشات اليوم، لكن دعني أُلخِص أفكارك في هذا الصدد: فبالنسبة لك، يعتبر الضبط الدقيق لخواص الكون - الخصائص التي تسمح بوجودك ككائن حي قادر علىٰ التفكير والحركة بنشاط - لم يأتي بالصدفة، وليس نتاج رمية عشوائية لحجر النرد في فضاء كون متضخم. فأنت تعتقد أن الظروف قد تم اختيارها كما تم وضع الإعدادات بعناية للسماح بوجودك.

وأن هذا الكون يحتوي علىٰ أشياء جيدة - مثل وجود كائنات أخلاقية تتمتع بحرية الإرادة تستطيع التجربة والتعلم والتقدير - ووجود مثل وجود هذه الصفات ليس صدفة، وإنما تعكس قصد الخالق - الشخص الذي وضع تلك الأرقام. أليس كذلك؟

لوك: هذا صحيح تقريبًا، إلا أني أشعر أنك لا تقتنع بتلك الحجة.

جيراينت: للأسف، لا أقتنع بها لأني أعتقد أن القناعات الأخلاقية نشأت أثناء تطورنا لكي تسمح لنا بالبقاء والازدهار في مجتمعات وقبائل. علىٰ أي حال، يُصبح جميع الناس غير أخلاقيين قليلًا في بعض الأحيان!

لوك: لا تخلط بين السؤال المتعلق بكيفية حصولنا علىٰ المعتقداتنا الأخلاقية والسؤال المتعلق بماهية تلك المعتقدات؛ فقد حصلت علىٰ مُقلتي عيني بسبب العمليات التطورية أيضًا، لكن أنا أصدقهما عندما يخبراني بوجود شجرة هناك. ولكن من المؤكد أن معرفة الصواب الذي يجب القيام به لا يضمن القيام

بما هو صواب. ونحن لسنا أخلاقيين بشكل كامل، ولكن أعتقد أننا نعرف ما يكفي للقدرة علىٰ التفكير بعقلانية بشأن الكائن الضروري الكامل أخلاقيًا.

جيراينت: يبدو أن الحجة مازالت تُفسر القليل بافتراض الكثير؛ فيوجد طريقة أخرىٰ يمكن من خلالها إثبات الضبط الدقيق مِن قِبَل خالق، ولكن بدون أن ننسب له كل هذه الصفات الكمالية والمُفرطة وبدون القول أنه كليّ كذا وكذا.

لوك: استمر.

الكون المُحاكىٰ

جيراينت: ربما قد يظهر الكون وكأنه قد ضبط بدقة لأنه كان مبرمجًا علىٰ هذا النحو، وأقصد بكلمة مبرمجًا نفس الطريقة التي يكتشف بها العلماءُ الكونَ بإنشاء نماذج صناعية داخل جهاز الحاسوب الخاص بنا، وبالتالي من الممكن أننا نعيش داخل محاكاة حاسوبية يقوم بها شخصٌ ما لكوكبنا.

لوك: وكيف علم من قام ببرمجتنا ماهية قوانين الفيزياء داخل عملية المحاكاة التي ستسمح بتطور أشكال الحياة التي ستُشكك في وجودها؟

جيراينت: الأمر لا يختلف في الواقع عن فرضية الأكوان المتعددة؛ فمن الممكن أن المبرمج العظيم كان يستكشف تأثيرات معلمات متنوعة بتشغيل عدد من عمليات المحاكاة الفردية، ثم فحص النتائج المُختلفة. وبينما ستؤدي غالبية عمليات المحاكاة إلىٰ وجود أكوان ليس بها حياة، إلا أنه من غير المستغرب أن نجد أنفسنا في كونٍ يمكننا العيش بداخله.

لوك: إذًا، خالقنا الجليل هو عالم فيزياء نظرية يقوم بعمليات المحاكاة الحاسوبية للأكوان، تبدو هذه الفكرة مألوفة بعض الشيء   فهو إله في خيالنا.

إنها علىٰ أي حال فكرة متماسكة، دعنا نُطبق هذه الفكرة إلىٰ النهاية؛ فهل يوجد أية عواقب مثيرة للاهتمام في افتراض أننا كائنات محاكاة stimulated نعيش علىٰ كوكب محاكىٰ يدور حول نجم محاكىٰ في عالم محاكىٰ؟

جيراينت: حسنًا، نحتاج عندما نحاكي الظواهر الفيزيائية إلىٰ إجراء عمليات تقريبية، وذلك بسبب تقيدنا بالقدرات الحاسوبية في جهاز الحاسوب الذي نستخدمه. تخيل مثلًا محاكاة لتطور المادة في الكون أثناء توسعه؛ فمع علمنا بتكون الغاز من الذرات، إلا أننا نعتقد أن المادة المظلمة تتكون من بعض الجسيمات الأساسية التي لا يمكننا إيجاد أيّ طريقة تُمكننا من محاكاة حركات الذرات والجزيئات بمفردها حيث إن أجهزة الحاسوب لا تتمتع بذاكرة يمكنها مواكبة تلك الأرقام الهائلة.

ولا تُستخدم العمليات التقريبة هذه في علم الكونيات فقط، وإنما نستخدمها أيضًا عندما نريد محاكاة تدفق الماء عبر أنبوب أو تدفق الهواء فوق جناح الطائرة، فلا نتعامل مع الماء أو الهواء بناءً علىٰ تكونهما من ذرات منفردة، وإنما نعاملها بدلًا من ذلك كسائل متدفق. لماذا؟ لأن هذه العمليات التقريبية تعمل بشكل جيد في تمثيل العالم الحقيقي في نطاقات نحن مهتمون بها - حتىٰ وإن فشلت في النطاقات الأصغر.

لوك: علىٰ افتراض أننا في عملية محاكاة، فهل نعتبر عملية تقريبية لكون أكثر تعقيد أنشأه هذا المُبرمج؟

جراينت: لا، ليس بالضرورة؛ يستطيع المُبرمج أن يحاكي أيّ قانون فيزيائي ثابت رياضيًا يمكن تخيله. ففي كوكبنا، تُقارن القوانين الفيزيائية المُقترحة بالطبيعة لمعرفة ما إذا كانت توفر وصفًا دقيقًا للظواهر المرصودة. ونحتاج للقيام بذلك إلىٰ دراسة النتائج المترتبة عليها، ونستطيع تطبيق ذلك علىٰ أي قانون كان، أو حتىٰ قد نتحقق من القوانين كنوع من الفُضول أو المتعة.

فبخلاف معظم الحسابات باستخدام الورقة والقلم، تستطيع المحاكاة الحاسوبية التحقق من الأكوان عن طريق إعادة تكوينها إلىٰ درجة معينة من التفصيل. فهذه أكوانٌ صغيرة داخل جهاز حاسوب.

لوك: دعنا نستوضح من أمر: أنت تزعم أننا يجب أن نعتبر أن وجود تلك الأكوان المحاكاة simulated أمرًا حقيقيًا بنفس قدر حقيقة وجودنا. ولكن في

كوننا، تعتبر تلك الأكوان مجرد سلاسل طويلة من الـ ٠٠٠٠٠ والـ ١١١١١، لكن سيعاين شخصٌ ما «يعيش» داخل جهاز الحاسوب كونًا يؤدي وظائفه بشكل كامل.

جيراينت: أظن ذلك. ومع عدم معرفتنا بالكثير من الخواص الفيزيائية اللازمة لظهور الوعي، إلا أننا نفترض أننا نقدر علىٰ محاكاة هذه الخواص. لأننا علىٰ سبيل المثال نستطيع -من حيث المبدأ!- أن نحاكي الدماغ.

وأعتقد أننا بحاجة إلىٰ أن نأخذ في اعتبارنا أمرًا آخرًا؛ لدينا كِلا البَرنامجين المكتوبين اللذين يستخدمان مولدات أرقام شبه عشوائية لاستكشاف مجموعة من الممكنات. وتُنتَج كل أنواع الأكوان التي حُكِيَّت لأغراض متنوعة؛ فاهتمام المُبرمج قد يكون علىٰ هذا الكون وحده، أو لإنتاج الحياة -فقد نكون نتيجة ثانوية- أو قد يكون اهتمامه علىٰ جانب آخر من المحاكاة، بل وربما لم يعلمون بوجودنا هنا!

لوك: حسنًا، آمل ألا يمِلوا ويتوقفوا عن المحاكاة.

جيراينت: أعتقد أنه لابد أن نأمل أيضًا ألا يقوم عامل النظافة في هذا الكون الأعلىٰ بفصل جهاز الكمبيوتر من المِقبس لتوصيل مكنسة الكهرباء متعددة الأبعاد.

لوك: لقد انصهر معي ثلاثَ لوحات إلكترونية في العام الماضي -رقم قياسي جديد- لذلك آمل أن تعمل مراوح التبريد هذه ذات الأبعاد العليا بأقصىٰ طاقتها.

دعنا نضع تلك المخاوف جانبًا ونفترض أن المُبرمج قد قصد من تلك المحاكاة أن يخلق كوكبًا لتعيش فيه أشكال الحياة، وهو يعلم بوجودنا هنا ويراقب تقدمنا. فهل هذه الفكرة تختلف حقًا عن فرضية وجود الله؟

جيراينت: يوجد بالتأكيد بعض أوجه التشابه -حيث يتأسس الكون وفقًا لخطة ثم يبدأ في العمل- ولكن سيكون القصد من خلق الكون مختلفًا تمامًا؛ فبدلًا منا فكرة وجود كون صممه إله واجب الوجود وكُليّ العلم ويتمتع بأخلاقٍ

مثالية، فقد نكون أكثر بقليل من مشروع علمي في مدرسة ثانوية يقوم به مراهق في كونٍ أكثر تعقيدًا من كوننا.

لوك: إن هذا الأمر علىٰ ظاهره يصعد فقط بالمشكلة إلىٰ مستوىٰ أعلىٰ. [فجوابك علىٰ سؤال] لماذا يسمح هذا الكون بوجود الحياة؟ لأنه نتاج الكون الذي يسمح بوجود الحياة، بالإضافة إلىٰ أجهزت الحاسوب وعمليات المحاكاة. هل تستطيع تخمين سؤاليّ التالي؟

يبدو هذا الافتراض بالفعل أسوأ من فكرة الأكوان المتعددة؛ فبينما تنطوي فكرة الأكوان المتعددة علىٰ توليد حشد كبير من الأكوان التي لابد أن توجد الحياة في كونٍ منهم -إذا وجدت التغيرات الكافية- ولكن تتطلب فرضية الأكوان المتعددة المحاكاة Simulated multiverses وجود مبرمج ما وجهاز حاسوب من البداية.

جراينت: فهمت قصدك، ولكن هناك طريقة لإتمام هذا العمل؛ حيث إن معظم الأكوان الممكنة التي اكتشفناها -بشكل يمكن فهمه- تعتبر شبيهة بطريقة ما بكوننا. ولقد حظيت المعادلات التي تصف عالمنا بأكبر قدر من اهتمام علماء الفيزياء - وكذلك المعادلات التي بذلنا ما في وسعنا لحلها.

وماذا لو وُجد -علىٰ عكس التوقعات- واحةً بعيدة في فضاء فيزيائي ممكن يوجد بها أكوانًا تسمح بوجود الحياة بالقدر الذي يمكن للعين أن تراه. ولن تبدو الحياة -علىٰ الأقل محليًا- مضبوطة بدقة، وبالتالي ربما لن يكون وجودها مفاجئ للغاية. وتُظهر الأكوان المُتعددة المحاكاة -إذا أحببت هذه التسمية- كيف تبدأ بكون يسمح بوجود الحياة ثم يُنتج هذا الكون عددًا كبيرًا من الأكوان الأخرىٰ التي تسمح بوجود الحياة -حتىٰ تلك الأكوان الدقيقة.

لوك: هل توجد أي طريقة يمكننا أن نعرف من خلالها ما إذا كُنا نعيش بالفعل في عملية محاكاة؟

جيراينت: يمكن أن نبحث عن أدلة علىٰ أن الكون متقطع وليس مستمرًا، فسيبدو هذا الأمر وكأنه إخراق لقوانين الطبيعة المستمرة.

وسيخبرك أيضًا أيّ شخص كتب برنامج للحاسوب أنه نادرًا ما يستمر الأمر بشكل مثالي؛ حيث تتسلل عيوب الأكواد ومواطن الخلل وينتج عنها عواقب غير مقصودة. وربما لو أصبحنا حذرين بشكل أكثر من مثل هذا الخلل -فعندها يمكن أن نفهم ما إذا كان هذا الكون حقيقيًا أما لا ولكن لن يكون الأمر سهلًا- دون معرفة كيفية كتابة الأكواد، وكيف نتعرف علىٰ الخلل؟ ولكن ماذا لو أن الخلل كان أحد عيوب الكون التي أشرنا إليها بالفعل؟ وماذا لو أن قيمة الثابت الكوني الصغيرة للغاية ليست إلا مجرد خطأ في التقريب، أي نتيجة لضعف قدرة جهاز الحاسوب من استيعاب جميع الأرقام؟[١]

مغيب الشمس

الراوي: إن علماء الكونيات قد أُرهقوا، حيث قد فات الأوان، وبدأت بعض الأفكار الغريبة أن تبدوا غير معقولة جدًا. لقد حان وقت التوصل إلىٰ بعض الاستنتاجات قبل غروب شمس يوم آخر من مدينة سيدني.

لوك: حسنًا، أرىٰ أن النقاش يتصاعد بسرعة، أعني أن الأمور قد خرجت عن السيطرة سريعًا. فقد كنا نتسائل بكل براءة عما سيحدث لو كان الكون مختلفًا، ثم انتهىٰ بنا الأمر نهيم في مُعظم علوم الفيزياء والكونيات، ثم استوقفتنا نظرية الاحتمالات وانغمسنا في الرياضيات، إلىٰ أن تعثرنا في بعض المسائل الفلسفية علىٰ غير طريقة المتخصصين، وقد حاولنا حتىٰ وضع أكوانًا متعددة في جهاز حاسوب.

سأحاول أن اختم مقالتي؛ تُلَخِص مجموعة من المعادلات الفهمَ الأفضل للطريقة التي تسير بها الطبيعة، لكننا نظن وبشدة أن هذه المعادلات ليست هي

(١) عرض بِيَان Beane ودافودي Davoudi وسافاج Savage هذه الفكرة في عام ٢٠١٤، وذلك بالإضافة إلىٰ عدد من نتائج فرضية أن هذا الكون عبارة عن محاكاة حاسوبية. وناقش في الحقيقة كونارد زوس Konrad Zuse افتراض أن يكون الكون عبارة عن محاكاة حاسوبية في عام ١٩٦٩. للاطلاع علىٰ مزيد من التفاصيل المتعلقة بتلك المسألة، انظر:

Fredkin (1990), Wolfram (2002, p. 1197) and 't Hooft (2013).

آخر ما ستتوصل إليه الفيزياء - وإنما هي بالأحرىٰ حالة خاصة لقانون مُطلق أعمق وأبسط. إن أحد جوانب قوانيننا التي تبدو غير مكتملة هو وجود أرقام - بارامترات (معاملات)حرة - في المعادلات نفسها وفي حلول تلك المعادلات.

وقد قام علماء الفيزياء -بُغية البحث عن أدلة لأفكار جديدة- بدراسة النتائج المترتبة علىٰ تغيير قيّم هذه المعاملات. وغالبًا ما تكون النتيجة كارثية بشكل مُباغت: حيث تؤدي التغيّراتُ التي تبدو صغيرة في المعاملات إلىٰ تغيراتٍ جذرية وضارة وغير معادَلة في قدرة الكون علىٰ إيجاد ودعم التعقيد اللازم لوجود الحياة - وهو ما يُسمىٰ الضبط الدقيق للكون من أجل وجود الحياة.

ما الذي قد تخبرنا به نظريةٌ فيزيائية أعمق عن هذه المعاملات؟ فقد يكونوا ثوابت رياضية، وفي هذه الحالة تعتبر المعاملات جزءًا لا يتجزأ عن النظرية ولا يمكن تغييرها بدون تغيير شكل المعادلة أو خاصية أخرىٰ من خصائص التركيبة الرياضية للنظرية، وقد تكون البارامترات مرتبطة أيضًا بوجودٍ ديناميكي مثل الحقل - والذي يتغير بتغير المكان والزمان. ويمكن أن توفر فكرة الضبط الدقيق في هذه الحالة حلًا مختلفًا تمامًا: الأكوان المتعددة + المبدأ الأنثروبي -الإنساني-. فتوجد مجموعة ضخمة من الأكوان - والتي من المحتمل أن تتشكل فيها الحياة في مكان ما - ولن يرصد المراقبون سوىٰ الأكوان التي لديها القدرة علىٰ إيجاد المراقبين. ويمكن أن تكون هذه الأكوان المتعددة نتاج عملية محاكاة لحياة أخرىٰ في كون قادم.

إن كل هذا الحديث عن قوانين الطبيعة المطلقة ومستويات التفسير الأعمق التي يستطيع العلم تقديمها يؤدي بنا بالأحرىٰ إلىٰ بعض الأسئلة «الكبيرة» والمشهورة: لماذا يوجد أي شيء علىٰ الإطلاق؟ لماذا يوجد هذا الكون بالذات؟ فوفقًا للمذهب الطبيعي، لا يمكن الإجابة عن هذه الأسئلة - لا عليك إلا إقناع نفسك أنك لم تعد بالفعل تريد إجابة علىٰ هذه الأسئلة. ولكن وفقًا للمذهب الألوهي، إن وجود كائن مثالي يمكن أن يجيب عن تلك الأسئلة العميقة؛ فوجوده الضروري يفسر سبب وجود أي شيء، وكماله الأخلاقي يجعل من إيجاد

كون يسمح بوجود كائن أخلاقي أمرًا أكثر رُجحانًا. ومع ذلك، يثير هذا الأمر بالفعل المزيد من الأسئلة! علىٰ سبيل المثال، هل تعتبر فكرة وجود كائن واجب الوجود أمرًا منطقيا؟

جيراينت: أعتقد أنني مازلت متمسكًا بفكرة الأكوان المتعددة، فكوننا ليس إلا كونًا واحدًا في بحر عظيم من الأكوان المتعددة، ويتمتع كل واحد منهم باختلاف في القوانين الفيزيائية وخصائص المادة، وهو الأمر الذي حُدد عن طريق الرمي الكوني لحجر النرد. كما رأينا، تعتبر كل هذه الأكوان عقيمة [لا يمكن أن توجد عليها الحياة] تقريبًا أو خاوية أو علىٰ وشك الانهيار، إلا أننا وجدنا أنفسنا بالطبع في كون من الأكوان القليلة للغاية التي يمكنها دعم وجود الحياة - المبدأ الإنساني في حيّز التطبيق.

لوك: يعتبر الاعتراض المُعتاد علىٰ فكرة الأكوان المتعددة هو كونها مبالغ فيها وغير قابلة للاختبار، وأظن أنها قد نتجت عن صعوبة نظرياتنا الكونية، حيث إن إثبات توقعاتها يعتبر أمرًا صعبًا. وأعتقد أنه سيكون إنجازًا استثنائيًا لنظرية الأكوان المتعددة أن تتنبأ -بشكل صحيح وعلىٰ أُسس طبيعية- بقيم الثوابت والظروف الأولية لكوننا، وتتجنب (عند القيام بذلك) مشكلة دماغ بولتزمان.

ولكن تعتبر أدمغة بولتزمان مصدرًا للقلق، ولابد أن تنحاز الأكوانُ المتعددة -أثناء تجنبها تلك المشكلة- إلىٰ أشكال الحياة البيولوجية -مثلنا- علىٰ حساب المراقبين المنعزلين والمهووسيين. وهذا الأمر يقضي علىٰ الفكرة بأكملها.

جيراينت: أود أن آخذ قِسطًا جيدًا من النوم الليلة! فهل هناك صورة وردية يمكنني رسمها في ذهني حين يغلبني النُعاس؟

لوك: لست متأكدًا من كونها وردية، ولكن هناك فكرة أخرىٰ. إن قدرة كوننا علىٰ دعم الحياة تعتبر نتيجة مترتبة -بشكل جزئي- علىٰ قدرته علىٰ تكوين النجوم؛ فعندما ينهار نجم ضخم في نهاية عمره القصير نسبيًا، يمكن أن ينفجر بنفس قوة انفجار السوبرنوفا، ويمكن أن يكون هذا الانفجار عنيفًا لدرجة تضغط لُّب النجم إلىٰ مستويات من الكثافة لا يمكن تصورها - مؤديًا بدوره إلىٰ تشكل

ثقبًا أسودًا. ونَظَّرَ لي سمولين Lee Smolin في عام ١٩٩٧ - لهذا المُصطلح يعني أحيانًا في الفيزياء أنه «خَمَن باستخدام المعادلات» - أن مثل هذا الثقب الأسود يمكن أن يؤدي إلىٰ إيجاد كونًا حديث التكوّن يُشبه الكون الذي تشكَل منه.

جيراينت: حقًا؟ هل يؤدي إيجاد ثقب أسود في الواقع إلىٰ إيجاد كون جديد بأكمله؟

لوك: هذا ما قصدته. حيث إنه بمجرد وجود كون لدية القدرة علىٰ تكوين النجوم والثقوب السوداء، يبدأ الكون في إيجاد أكوان صغيرة تشبهه تمامًا وبها نجومًا وثقوبًا سوداء. ويؤدي تكوين الثقوب السوداء في الأكوان الصغيرة إلىٰ تكوين المزيد من الأكوان، ثم المزيد والمزيد من الأكوان اللاحقة. فنحن نقوم باستنساخ الأكوان!

وإذا فكرت في هذا الأمر في سياق الأكوان المتعددة، فستجد أن هذا يعني أنه من خلال هذه الأجيال اللاحقة، فستُصبح الأكوان التي تحتوي علىٰ نجوم وثقوب سوداء هي المُهيمنة بين الأكوان المتعددة، وقد تدعم النجوم وجود الحياة في مكان داخل هذه الأكوان. وستُصبح الأكوان التي تحتوىٰ علىٰ الحياة -بهذه الطريقة- هي المهيمنة بين الأكوان المتعددة.

جيراينت: وبالتالي ستُصبح الأكوان التي تحتوي علىٰ الحياة هي القاعدة وليس صدفة نادرة.

لوك: نعم بالفعل، وعلىٰ الرغم من أنك لا تزال بحاجة إلىٰ استحضار ماهية الكون الأول الذي لدية القدرة علىٰ إنتاج ثقوب سوداء، إلا أن تحقيق الأمر يبدو سهلًا علىٰ الأقل - كل ما عليك هو أن تترك الجاذبية تقوم بعملها.

إن سهولة إتكوّن الثقوب السوداء -في الواقع- قد يُفسد الفكرة؛ حيث من المُحتمل أن تنشأ الثقوب السوداء بشكل أسهل في أمواج انفجار كبير أو بالتقلب في كونٍ متضخم بدلًا من العناء الناتج عن تكوين النجوم. ولكن أقل ما يُقال عن هذه الفكرة أنها تقوم علىٰ تكهنات فيزيائية.

ماذا عن الكون المحاكىٰ الذي افترضته؟ نحن نعيش داخل محاكاة حاسوبية معقدة، في كونٍ اصطناعي أوجده كائن متعدد الأبعاد يعبث بجهاز حاسوبي. هل هذه الصورة تروق لك علىٰ الإطلاق؟

جيراينت: لا، ليس تمامًا. أنا لا أجدها مريحة ولا مُزعجة، فالحياة للعيش، بغض النظر عمن أو ما أخرجها إلىٰ حيز الوجود.

الراوي: صمتا عالِما الأكوان ونظرا في أرجاء الحديقة، فلاحظا أن الشمس في طريقها إلىٰ الغروب دون الأُفق، مع انتشار البرد القارس المُصاحب للظلام المتداخل، وقد غادر كل العائلات الحديقةَ، فقررا العالمان أنه قد حان الوقت لاختتام مناقشاتهما.

جيراينت: كيف يمكننا معرفة الجواب؟

لوك: حسنا، مع أننا نواجه بعض الحواجز، إلا أن الفهم الأفضل لقوانين الطبيعة -بالإضافة إلىٰ الوسائل الرصينة الجديدة التي تستخدم النيوتريونات أو الموجات الجذبية- قد يُمكننا من العودة إلىٰ الوراء حيث البدايات.

جيراينت: هذا صحيح، نحن بحاجة إلىٰ أن نظرية الجاذبية الكمية quantum gravity؛ فلابد أن تكون القوىٰ الأخرىٰ قد لعبت دورًا مهمًا في التطور المبكر للكون، لكن رياضيات النسبية العامة وميكانيكا الكم لا يعملان مع بعضهما البعض، ولا أحد يعرف الطريقة الصحيحة لتوحيدهما.

ماذا عن نظرية الأوتار، أو الجاذبية الكمومية الحلقية، أو أحد الأشياء الرائعة الأخرىٰ التي نراها منتشرة في صفحات المجلات مثل نيو ساينتست New Scientist وساينتفك أميريكان Scientific American؟

لوك: نعم، توجد الكثير من الأنشطة في هذه المناطق، ولكن لا تستند أي منها علىٰ أدلة تجريبية؛ فتراجع التفاؤل الأوليّ بشأن نظرية الأوتار، ومازلنا ننتظر نظرية كل شيء -التي كان من المفترض أن تُنجز بعد عشر سنين- منذ فترة طويلة جدًا.

جيرانيت: ماذا لو لم يكن هناك نظرية لكل شيء؟

لوك: سيكون الأمر ممتعًا بما فيه الكفاية، أعتقد أننا يمكن أن نصيغ عندها حجةً أنثروبية -إنسانية- غير ناضجة. تبدو قوانين الطبيعة أكثر بساطة وروعة من اللازم لوجود الحياة، ونستطيع أن نجعل قوانين الطبيعة مزعجة جدًا بطرق لن تؤثر علىٰ قدرة الكون علىٰ إيجاد الحياة. ولكن لا يتمتع الكون بهذه الخصائص المُزعجة، وهذا يشير أن البساطة التي نراها في قوانين الطبيعة تنتشر باطرادٍ في جميعها، وبالتالي هناك سبب يجعلنا نأمل في صياغة نظرية كل شيء.

ويعتبر عجزنا عن اكتشاف القانون الصحيح هو أحد المخاوف الرئيسية، وذلك لأننا لم نعد نتحدث لغة الرياضية الصحيحة. لكن تعتبر الرياضيات فكر نقي - أي أنه يمكننا دائمًا أن نفكر بجدية أكثر.

جيراينت: وماذا إذا لم يكن لدينا نظرية لكل شيء، فهل يمكننا أن ننظر بدقة «من خلال» الانفجار الكبير ونستنتج من أين جاء الكون؟

لوك: لا نعلم، لكن هذا الأمر يبدو غير مُرجح، حيث لا نستطيع إلا بقدر ما تسمح به العمليات التقريبية، وليس أكثر من ذلك.

إن أي عدد من الطُرق التي من شأنها أن تختبر أفكارنا ستظل في نفس الوقت بعيدة المنال، فقد تُركنا مع أدلة غير مُكتملة. حاول أن تفكر بوضوح، وخذ في اعتبارك كل الخيارات، وكن علىٰ وعي بما تتحيز له.

جيراينت: حسنًا، هذا يعطيني شيئًا اتفكر فيه.

لوك: بالتأكيد، ولكن ليس الليلة. لقد تأخر الوقت وأعتقد أنه قد حان الوقت بالنسبة لي للعودة إلىٰ المنزل. فبغض النظر عن عدد الأكوان الأخرىٰ الميتة والمُعقمة، لديّ في هذا الكون طفلين في حاجة إلىٰ الاستحمام.

جيراينت: نعم، لديك حاليًا ما يكفي لتقوم به في هذا الكون! طابت ليلتكَ.

الراوي: يتوجه عالِما الكونيات في اتجاهين مختلفين، يغمرهما الظلام ببطء.

مزيد من المطالعة
توجد مؤلفات كثيرة في الضبط الدقيق للكون، ما بين عاميٍّ ومتخصص.

الكتب: المستوىٰ العاميّ

فقط ستة أرقام لمارتن ريس Just Six Numbers by Martin Rees. نوصي بشدة بقراءة هذا الكتاب، فهو يركز كثيرا علىٰ الكوزمولوجيا والفيزياء الفلكية، كما هو متوقع من الفلكي الملكي. حيث يقدم ريس استعراضا واضحا للكوزمولوجيا الحديثة، بما في ذلك التضخم، ويختتم بدفاع مقنع عن الأكوان المتعددة.

لغز ملاءمة الكون للحياة لبول ديفيز The Goldilocks Enigma by Paul Davies. إن بول كاتب بارع وقد ظل مساهما مهما في هذا المجال لفترة طويلة. حيث إن طرحه للفيزياء جيد جدا، لا سيما طرحه لآلية هيجز. وحين يدلف إلىٰ الميتافيزيقا، تكون نظرته شاملة وعميقة.

المشهد الكوني: نظرية الأوتار ووهم التصميم الذكي لليونارد سسكيند The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design by Leonard Susskind. إن ليونارد أحد الشراح المذهلين، كما تشهد بذلك محاضراته العديدة الموجودة علىٰ الإنترنت.

ثوابت الطبيعة لجون بارو Constants of Nature by John Barrow مناقشة لفيزياء ثوابت الطبيعة. فهو طرح ممتاز للفيزياء الحديثة والكوزمولوجيا وعلاقتيهما بالرياضيات، ويشمل هذا الكتاب فصلا عن المبدأ الإنثروبي ومناقشة لنظرية الأكوان المتعددة.

الكوزمولوجيا: علم الكون لإدوارد هاريسون Cosmology: The Science of the Universe by Edward Harrison وهو أحد أفضل المقدمات لعلم الكوزمولوجيا. حيث تجدر قراءة الكتاب بأكمله، وليس مجرد الفصول التي تخص الحياة في الكون والأكوان المتعددة.

في موطننا من الكون لجون ويلر At Home in the Universe by John Wheeler وهو عبارة عن مجموعة من المقالات العميقة والمسلية، بعضها يمس مواضيع الإنثروبيا.

الكون البارع لمارتن جاردنر The Ambidextrous Universe by Martin Gardner وهو دراسة رائعة لأهمية التناظر وعدمه في الكون.

مغالطة الضبط الدقيق: لماذا الكون غير مصمم لنا، والإله والأكوان المتعددة لفيكتور شتينجر The Fallacy of Fine-Tuning: Why the Universe is Not Designed For Us and God and the Multiverse by Victor Stenger. وهذا الكتاب عبارة عن جسيم مضاد. حيث يناصر شتينجر النظرة القائلة بأن الفيزياء -من دون حاجتها إلىٰ الأكوان المتعددة- قد حلت بالفعل جميع مشكلات الضبط الدقيق. وجزء من مراجعة لوك المذكورة أدناه يرد علىٰ هذا الكتاب، كما يرصد العديد من المغالطات.

الكتب: المستوىٰ المتقدم

المبدأ الإنثروبي الكوزمولوجي لجون بارو وفرانك تيبلر The Cosmological Anthropic Principle, by John Barrow and Frank Tipler وهو عمدة المجال. وحتىٰ لو لم تستطع مجاراة المعادلات التي في الفصول الوسطىٰ، لا يزال يجدر

قراءة الكتاب لأن استعراضه واضح تماما. ورغم أنه يصبح تكهنيًا في الفصول الأخيرة، إلا أن مواطن إعمال الشك فيه واضحة.

كون أم أكوان متعددة، حرَّره بيرنارد كار Universe or Multiverse, edited by Bernard Carr وهو عبارة عن مجموعة عظيمة من الأبحاث أجراها معظم خبراء المجال.

مقالات المراجعة العلمية

نشأ مجال الضبط الدقيق إثر ما يسمىٰ «فرضية العدد الكبير» (large number hypothesis) لبول ديراك، وكذلك بحث مرتبط أجراه هيرمان ويل، وآرثر إدينجتون، وجورج جاماو وآخرون. حيث أدت هذه الاستعراضات إلىٰ الاعتراف بالضبط الدقيق وذلك حينما شرح روبر ديكا مصادفات العدد الكبير مستخدما المبدأ الإنثروبي. وقد بُحِثَت حجة ديكا وطوِّرت في تلك الأبحاث الخاصة بالمجال:

مصادفات العدد الكبير والمبدأ الإنثروبي في الكوزمولوجيا لكارتر (١٩٧٤).

* Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology, Carter (1974).

المبدأ الإنثروبي وبنية العالم الفيزيائي لكار وريس (١٩٧٩).

* The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World, Carr and Rees (1979).

المبدأ الإنثروبي لديفيز (١٩٨٣). The Anthropic Principle, Davies (1983).

عدد من الأبحاث، ورغم أنها لا تتناول الضبط الدقيق، إلا أنها تظهر كيف أن الخصائص الماكروسكوبية للكون تعتمد علىٰ قيم الثوابت الأساسية. فهي متعة كبيرة للعمل خلالها إن كنت لا تمانع بوجود القليل من الرياضيات.

اعتماد الظواهر الماكروفيزيائية علىٰ قيم الثوابت الأساسية، لبريس ولايتمان (١٩٨٣).

Dependence of Macrophysical Phenomena on the Values of the Fundamental Constants, Press and Lightman (1983).

الثمانية عشر معاملا اعتباطيًا في النموذج القياسي لحياتك اليومية، لكان (١٩٩٨).

The Eighteen Arbitrary Parameters of the Standard Model in Your Everyday Life, Cahn (1998).

إليك بعض الدراسات الاستعراضية، مرتبة وفقا لزيادة مستواها التقني.

فهم الضبط الدقيق في كوننا لكوهين (٢٠٠٨) Understanding the Fine Tuning in Our Universe, Cohen. وهي مقدمة للضبط الدقيق لدىٰ الارتباط النووي والاصطناع النووي في النجوم، ويستهدف طلاب الفيزياء بالمرحلة الجامعية.

المصادفات العددية و«الضبط» في الكوزمولوجيا لريس (٢٠٠٣) Numerical Coincidences and 'Tuning' in Cosmology, Rees.

لماذا الكون علىٰ ما هو عليه وحسب لهوجان (٢٠٠٠) Why the Universe Is Just So, Hogan. وهو نظرة عامة وتحديث للمجال، وأحد أول الأبحاث التي توصل بالقيود الإنثروبية إلىٰ النظريات الكبيرة الموحدة.

الضبط الدقيق للكون من أجل الحياة الذكية، لبارنيز The Fine-Tuning of the Universe for Intelligent Life, Barnes (٢٠١٢) وهو مراجعة لوك الشاملة للأعمال المهمة التي أُلِّفت في هذا المجال منذ مراجعة هوجان عام ٢٠٠٠.

الحياة بين كل من فيزياء الجسيمات ونظرية الأوتار، لشيليكينز (٢٠١٣). وهي مراجعة واسعة النطاق من منظور أحد منظري نظرية الأوتار. Life at the Interface of Particle Physics and String Theory, Schellekens (2013).

كتاب تغيير الثوابت، الجاذبية والكوزمولوجيا. أوزان Varying Constants, Gravitation and Cosmology, Uzan (2011). حيث يتداخل المجال العلمي للضبط الدقيق مع دراسة تغييرات الثوابت الأساسية بهذا الكون، ولأسباب جلية، يتساءل كلاهما: «ماذا سيحدث لو كانت الثوابت الأساسية مختلفة عما هي عليه؟» حيث يقدم أوزان نظرة شاملة لهذا المجال.

كما أن كتاب «أكوان» لليزلي (١٩٨٩) Universes by Leslie عبارة عن استعراض واضح لما يمكننا وينبغي علينا أن نستنتج من الضبط الدقيق. كما يوجد المزيد من الاستعراضات العامة للعديد من القضايا الفلسفية التي تثيرها الكوزمولوجيا الحديثة -بما في ذلك الضبط الدقيق- في كتابَي «قضايا في فلسفة الكوزمولوجيا» لإيليس (٢٠٠٦) و«فلسفة الكوزمولوجيا» لسمينك (٢٠١٣) 'Issues in the Philosophy of Cosmology' by Ellis (2006) and 'Philosophy of Cosmology' by Smeenk (2013).

وأحد الأسباب التي جعلت الضبط الدقيق للكون لأجل الحياة محل اهتمام الفلاسفة هو أنه كثيرا ما يستخدم كمقدمة منطقية في حجة وجودة الإله. وفي رأينا، فإن كثيرا مما أُلِّف في حجة الضبط الدقيق -علىٰ ما فيه من إيجابيات وسلبيات- قد أخفق الهدف إلىٰ حد بعيد. ومن بين أفضل تلك المؤلفات: الفيزياء الحديثة والإيمان القديم (بار، ٢٠٠٣) Modern Physics and Ancient Faith (Barr, 2003)، ووجود الإله (سوينبيرن، ٢٠٠٤) The Existence of God (Swinburne, 2004)، والإيمان بالإله والتفسير الحتمي (أو كونور، ٢٠٠٩) Theism and Ultimate Explanation (O'Connor, 2008) والحجة الغائية: استكشاف للضبط الدقيق للكون (كولينز وكريج ومورلاند، ٢٠٠٩) 'The Teleological Argument: An Exploration of the Fine-Tuning of the Universe' (Collins, in Craig and Moreland, 2009)..

وكما هو متوقع، لم تخل تلك الادعاءات من النقد، ومن ذلك: المنطق والإيمان بالإله (سوبيل، ٢٠٠٩)، والجدل بشأن الآلهة (أوبي، ٢٠٠٩)، وهل الكون بحاجة إلىٰ الإله؟ (كارول، ٢٠١٢). Logic and Theism (Sobel, 2009), Arguing about Gods (Oppy, 2009), and 'Does the Universe Need God?' (Carroll, 2012).